

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»
УДК 004.043

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ І.Р. Пархомей
(підпис)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-71мн
(шифр групи)

_____ Мізьов Олександр Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Мелкумян К.Ю. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ І.Р. Пархомей
(підпис)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мізьову Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району» _____

науковий керівник дисертації Мелкумян Катерина Юріївна, к.т.н., доцент _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «13» 03 2019р. № 877-С

2. Термін подання студентом дисертації 20.05.2019 _____

3. Об'єкт дослідження Підприємства промислового регіону _____

4. Предмет дослідження Кількісна характеристика шкідливих викидів підприємств промислового регіону _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

1. Виконати аналіз предметної області. _____
2. Сформувати математичний апарат для вирішення поставленого завдання. _____
3. Знайти рішення задачі оптимізації в загальному вигляді. _____
4. Сформувати методологію застосування знайденого рішення. _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу блок-схема алгоритму вирішення задачі, блок-схема методології застосування знайденого рішення, результати апробації представлені графічно _____

7. Орієнтовний перелік публікацій «Optimization of harmful emissions from factories in the environmental zones of the industrial region», «Оптимальное размещение промышленных предприятий с минимальными экологическими последствиями для данного промышленного региона.» _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перевірка на співпадіння.	Лісовиченко О. І.		

9. Дата видачі завдання 20.11.2018 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Затвердження теми дипломного проекту	20.11.2018	
2	Ознайомлення з предметною областю	25.01.2019	
3	Дослідження математичного апарату	15.02.2019	
4	Вирішення задачі оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону.	15.03.2019	
5	Формування методології застосування знайденого рішення.	19.04.2019	
6	Оформлення пояснювальної записки	03.05.2019	
7	Попередній захист	13.05.2019	
8	Захист дипломного проекту	20.05.2019	

Студент

(підпис)

О. О. Мізюв

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

К. Ю. Мелкумян

(ініціали, прізвище)

Реферат

Розмір пояснювальної записки – 118 аркушів, містить 18 ілюстрацій, 35 таблиць, 6 додатків, і 9 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

В даній роботі для оптимізації викидів підприємств в промислових регіонах запропоновано використання методу суперпозиції для рішення задачі шляхом зведення основної задачі до задачі лінійного програмування. Сформовано математичний апарату для обчислення оптимальних з економічної точки зору об'ємів викидів для підприємств промислового регіону, які задовольняють гранично-допустимі екологічні норми. Розроблено алгоритм застосування створеного розрахункового функціоналу на практиці.

Практична цінність даної роботи полягає у можливості застосування результатів даної роботи: сформованого розрахункового функціоналу і алгоритму його використання, для вирішення задач по зменшенню атмосферних викидів підприємств промислового регіону із мінімально можливими економічними затратами на модернізацію виробництва за умови збереження того ж об'єму виробництва.

Ключові слова: атмосферні викиди, рівняння Нав'є-Стокса, екологічна зона, інтенсивність забруднення, розрахунковий функціонал, лінійне програмування.

Abstract

Size of this explanatory notes is 118 pages, it includes 18 pictures, 35 spreadsheets, 6 applications and 9 references.

This work proposes the method of optimization of harmful emissions from factories in the industrial region, which is based on the superposition method for solving problems by transforming the base problem to linear programming problem. The mathematical apparatus was formed to calculating the optimal from economic perspective emission volumes for factories in the industrial region, which meet environmental emissions' limitations. The algorithm that describes principles of application of the created mathematical apparatus was developed. The practical value of this work is based on the possibility of applying the results of this work for solving issues connected with need of decreasing amount of air emission of the factories of the industrial region with minimal expense on factories modernization with keeping the same production volume.

Keywords: air emissions, Navier-Stokes equations, environmental zone, intensity of emission, calculated functional, linear programming.

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: *Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового
району*

Київ – 2019 року

Перелік скорочень	9
Вступ	10
Розділ 1. Опис предметної області	12
1.1. Класифікація техно-екологічних аномалій	12
1.2. Забруднення атмосфери	16
1.3. Види забруднень атмосфери	16
1.4. Постановка задачі	20
1.5. Висновки за розділом	23
Розділ 2. Дослідження предметної області	24
2.1. Загальна характеристика аерозолів	24
2.2. Класифікація аерозолів	25
2.3. Математична модель руху аерозолів	28
2.4. Висновки за розділом	42
Розділ 3. Вирішення задачі оптимізації	44
3.1. Опис моделі	44
3.2. Метод суперпозиції	48
3.3. Рішення задачі	49
3.4. Висновки за розділом	59
Розділ 4. Апробація результатів	60
4.1. Постановка задачі апробації	60
4.2. Опис Запорізького промислового регіону	61
4.3. Розробка алгоритму апробації результатів	63
4.4. Апробація результатів на прикладі Запорізького промислового регіону	67
4.5. Висновки за розділом	84
Розділ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	86
5.1. Формування ідеї стартап-проекту	86
5.2. Технологічний аудит стартап-проекту	89

5.3. Аналіз ринку.....	90
5.4. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту	100
5.5. Розроблення маркетингової стратегії стартап-проекту	104
5.6. Висновки за розділом	108
Висновки.....	109
Перелік посилань	111
ДОДАТОК А	113
ДОДАТОК Б.....	114
ДОДАТОК В	115
ДОДАТОК Г	116
ДОДАТОК Д	117
ДОДАТОК Е.....	118

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

C# — об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи .NET.

ASP.NET Core — вільне та відкрите програмне забезпечення каркасу веб застосунків, з продуктивністю вищою ніж у ASP.NET, розроблена корпорацією Microsoft і співтовариством.

MongoDB — документо-орієнтована система керування базами даних (СКБД) з відкритим вихідним кодом, яка не потребує опису схеми таблиць. JavaScript — динамічна, об'єктно-орієнтована прототипна мова програмування. Реалізація стандарту ECMAScript.

Angular — написаний на TypeScript front-end фреймворк з відкритим кодом, який розробляється під керівництвом Angular Team у компанії Google, а також спільнотою приватних розробників та корпорацій. Angular — це AngularJS, який переосмислили та який був повністю переписаний тією ж командою розробників.

API — англ. Application Programming Interface, укр. прикладний програмний інтерфейс

MVC — англ. Model-view-controller, укр. модель—представлення—контролер

HTML — англ. HyperText Markup Language, укр. мова розмітки гіпертекстових документів

CSS — англ. Cascading Style Sheets, укр. каскадні таблиці стилів

Electron — фреймворк, розроблений GitHub, який дозволяє розробляти рідні графічні застосунки для настільних операційних систем за допомогою веб-технологій.

ionic — це технологія, що дозволяє розробляти повноцінні програми для iOS і Android із використанням фреймворка Angular.

ВСТУП

На сьогоднішній день надзвичайно гостро стоять екологічні проблеми, пов'язані із збільшенням об'ємів викидів промислових підприємств. Забруднення літосфери і гідросфери в більшості своїй мають локальний характер, і обмежуються певною зоною захоронення відходів і оточуючих її підземних і наземних джерел води, і басейнами річок і водойм до яких потрапляють відходи. У контраст до цього забруднення атмосфери ніколи не може бути певним чином локалізовано, це пов'язано в першу чергу із фізичними і хімічними особливостями повітряної середи із дифузією повітряних мас і особливостями їх міграції, яка є набагато швидшою ніж міграції у всіх інших середовищах. Результат забруднення атмосфери завжди має глобальний характер не зважаючи на його локальні наслідки. Наприклад збільшення вмісту вуглекислого газу та інших парникових газів на певній території призводить до виникнення «парникового» ефекту який призводить до поступового збільшення температури Земної поверхні. І цей ефект відчувається на території всієї планети. За останні декілька десятиліть середня температура на Землі, за різними джерелами, зросла від 1,5°C до 2°C, і продовжує зростати. Збільшення середньої температури на Землі призводить танення Арктичної криги, що в свою чергу призводить до знищення екосистем Антарктики і підвищення рівня світового океану. Крім того підвищення середньої температури призводить до різких кліматичних змін і зміщення кліматичних поясів. І до настільки швидких змін не здатна пристосуватися ні флора ні фауна ні навіть людство. Описані вище негативні наслідки за рахунок своєї глобальності, не є настільки швидкоплинними, як екологічні катастрофи, які утворюються в епіцентрах шкідливих викидів. Значна частина найважчих складових викидів у повітря осідає у найближчих регіонах і сам там вплив забруднення є найбільшим. І якщо проблема сконцентована у промислових регіонах, то і її рішення знаходиться саме там. Вирішення проблеми регулювання об'ємів викидів і адаптації існуючих виробництв до екологічних і економічних вимог сьогодення стоїть надзвичайно гостро. Ця проблема не втратить своєї актуальності і у майбутньому адже наука не стоїть на місці, постійно винаходяться нові технології, методи і

способи організації виробництва, які збільшують його ефективність зменшуючи об'єми необхідних енергоносіїв і матеріалів для виконання промислових процесів і виготовлення продукції, підвищуючи його екологічність і зменшуючи об'єми викидів і відходів виробництва.

Таким чином представлена вище проблема породжує цілий клас задач і викликів, пов'язаних із її вирішенням. Одна із цих задач є задача допомогти власникам підприємств і владі держав виконати модернізацію виробництва на підзвітних підприємства в умовах обмеженості ресурсів. Саме ця задача і послугувала основою для даної роботи.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1.Класифікація техно-екологічних аномалій

Техно-екологічні аномалії це аномалії, тобто відхилення певних характеристик природнього середовища від їх початкових значень, причиною виникнення яких є антропогенний фактор

Природні аномалії на сьогоднішній день є доволі розповсюдженим феноменом. Зараз надзвичайно складно виділити на Землі регіони і зони на яких природні умови не зазнали значних змін. Деякі зміни обумовлені періодичними циклами існування нашої планети. Періодичні похолодання клімату на Землі призводили до так званих льодовикових ер і наступних за ними ерами потепління. Саме у таку еру ми і живемо зараз. Ці зміни є природними і циклічними і вони не залежать від впливу людини. З іншого боку більшість аномалій є результатом діяльності людини і в порівнянні із природніми змінами вони відрізняються значною швидкістю змін природних умов. Якщо природні періоди змін клімату обчислюються мільйонами і мільярдами років, то зміни спричинені антропогенними факторами проявляють себе вже в десятках і сотнях років. Різниця у швидкості змін складає майже сім порядків. Аномалії спричинені антропогенними факторами класифікувати наступним чином:

За джерелом виникнення:

- антропогенні
 - умисні – спричинені свідомим руйнуванням екосистеми. Війна, терористичні акти. Випробування зброї (особливо ядерної та хімічної), утворення нових і збільшення старих сміттєзвалищ та інші
 - техногенні
 - військові
 - соціально-економічні
 - політичні
 - тероризм

- ненавмисні – спричинені недостатньою кваліфікацією персоналі, або їх халатним відношенням, що призвело до аварії на промисловому об'єкті (Чорнобильська катастрофа)
- природно-антропогенні – руйнування підприємств із подальшим забрудненням навколишнього середовища, спричинені руйнівною дією завданою природною стихією. Зазвичай є результатом природно-антропогенної надзвичайної події.

Природно-антропогенні надзвичайні події - техно-екологічні надзвичайні події, причиною яких є діяльність суспільства в цілому, яка проявляється екологічними змінами різних рівнів: глобальні, регіональні, локальні.

Техногенні надзвичайні події - техно-екологічні надзвичайні події, причиною яких є локальні надзвичайні ситуації на виробництвах, аварії, розливи та викини шкідливих речовин, вплив яких на екосистеми є негативним.

За сферою прояву результатів діяльності:

- Атмосферні аномалії – зміни повітряної сфери Землі спричинені забрудненням атмосфери хімічними речовинами (зміна хімічного складу атмосфери), твердими частками та пилом (зміна фізичних властивостей атмосфери). Основні джерела забруднення – промислові об'єкти та транспортні засоби із двигуном внутрішнього згоряння .
 - Температурні аномалії (глобальне потепління)
 - Структурні аномалії (руйнування озонового шару)
- Літосферні аномалії – зміни твердої сфери Землі, спричинені видобутком корисних мінералів (утворення штучних пустот у земній корі), зміною ландшафту (ерозія), хімічні забруднення відходами виробництва і результатами життєдіяльності людей. Значний вплив на зміну ландшафтів має сільське господарство, а саме розорювання нових земель під поля, меліораційні роботи, іригаційні заходи.
- Гідросферні аномалії – зміни водної сфери Землі, спричинені забрудненням гідросфери хімічними речовинами і відходами життєдіяльності людства. Деградація водних ресурсів спричиняється

зливанням небезпечних відходів сільськогосподарських і промислових підприємств без їх попереднього належного очищення і дезінфекції. Значний вплив на стан гідроресурсів має гідрологічне будівництво. Створення ГЕС призводить до руйнування природніх ритмів і режимів стоку річок, що в свою чергу сприяє зміні біологічного складу водойм. Збільшується вірогідність розвитку процесів заболочення і як наслідок зміна фізичного і хімічного складів водних ресурсів.

- Біосфера аномалії – зміни у біологічному складі живих організмів Землі, спричинені змінами умов існування у наслідок прояву аномалій у атмосфері, літосфері, гідносфері, а також як результат безпосереднього впливу людської діяльності.

За масштабом:

- Глобальні (біосферний) – аномалії які опосередковано або безпосередньо вплив на все людство, або значну його частину.
- Національні (біоекологічні) – аномалії територіально локалізовані у межах держави, і вплив яких не виходить за межі держави.
- Трансграничні (геосистемні) – локальні аномалії вплив, яких розповсюджується на значні території і виходить за межі держави.

Величину ризику для людини спричиненого певним антропогенним фактором визначають, як величину екологічного ризику окремого антропогенного фактору [7]. Зі збільшенням техно-екологічного тиску на екологічну систему і наближенням цього тиску до гранично допустимого рівня збільшується величина екологічного ризику. Саме ця величина і визначає максимально можливе техно-екологічне навантаження на даний екологічний регіон. І визначається за формулою:

$$R_e = \frac{L_c}{S} + L_e \quad (1.1)$$

де L_c – величина поточного антропогенного навантаження на досліджуваний екологічний регіон.

S – потенціал екологічної стійкості досліджуваного екологічного регіону.

L_e – величина антропогенного ураження досліджуваного екологічного регіону.

Дана величина ризику відображає екологічну уразливість регіону до антропогенного впливу.

Зазвичай виділяють дві основні концепції зменшення антропогенного впливу на регіон і, як наслідок зменшення техногенного навантаження на регіон і в результаті зменшення екологічного ризику.

Сутність першої концепції полягає в усуненні джерела екологічного ризику взагалі. Тобто способами першої концепції може бути закриття підприємств або перенос виробництва у інші регіони. Але дані рішення мають вигоду лише у найближчій перспективі і є лише паліативними. Через це дана концепція не відповідає концепції світового сталого розвитку і не може бути використана для вирішення проблеми зменшення екологічного навантаження.

Друга концепція полягає у зменшенні екологічного ризику шляхом оптимізації і модернізації джерел антропогенного впливу регіону, а також підвищення соціально-економічних умов для навіювання остаточних впливів. До методів другої концепції відносять:

- Активні методи зменшення екологічного ризику
- Нормативні методи зменшення екологічного ризику
- Адаптивні методи зменшення екологічного ризику

Активні методи зменшення екологічного ризику полягають у оптимізації і модернізації виробничих циклів що призводить до зменшення сировинного навантаження на регіон, а також зменшення обсягів шкідливих викидів підприємств. Тобто отримуємо подвійне зменшення екологічного навантаження на регіон.

Нормативні методи зменшення екологічного ризику полягають у нормативно-економічній підтримці і стимуляції підприємств до використання активних методів зменшення екологічного ризику. Крім того важлива частина

нормативних методів зменшення екологічного ризику є соціально-економічна підтримка населення проживаючого у регіоні зі значним рівнем екологічного ризику.

Адаптивні методи зменшення екологічного ризику полягають у поступовій адаптації до режиму функціонування екологічного регіону. Таке пристосування здійснюється шляхом утворення промислово-сировинних симбіозів, у якому підприємства взаємно доповнюють один одне. Відходи одного підприємства є сировиною для іншого. Результати формування вищезазначених симбіозів має синергетичний ефект для зменшення екологічного ризику і підвищення ефективності підприємств.

1.2.Забруднення атмосфери

Забруднення атмосфери представляють собою викиди забруднюючих речовин у повітря, які завдають шкоди здоров'ю людини і планеті в цілому.

Більшість забруднень повітря надходить від використання та виробництва енергії. Спалювання викопного палива викидає в повітря газів і хімікатів. Забруднення повітря вуглекислим газом та метаном підвищує температуру землі. Підвищення температури ще більше погіршує ситуацію із іншими видами забруднення: тепліша погода і більша кількість ультрафіолетового випромінювання сприяє формуванню смогу. Зміни клімату призводять до збільшення алерго-небезпечного забруднення повітря результатами цвітіння і пилом.

1.3.Види забруднень атмосфери

Виділяють два основних види забруднювачів повітря: газоподібні сполуки і сполуки в твердій формі. Смог відноситься до першої групи і є газоподібною сполукою. Смог за своєю природою це аерозоль до складу якого входять пил, дим і туман. Він утворюється, коли викиди від спалювання викопного палива реагують з сонячним світлом. Сажа в свою чергу представляє собою дисперсію дрібних частинок хімічних речовин, ґрунту, диму, пилу або алергенів у вигляді газу або твердих речовин, які переносяться в повітря. Джерелами сажі є викиди від автомобілів, вантажівок, фабрик, електростанцій, установок для спалювання,

двигунів - всього, що спалює викопне паливо, таке як вугілля, продукти нафтопереробки або природний газ. Найбільш небезпечними є найдрібніші частинки сажі у повітрі, незалежно від їх агрегатного стану, газоподібного або твердого, вони без перешкод можуть проникнути в легені, а як наслідок у кровоток людини чи тварини, тим самим отруюючи її.

Небезпечні викиди, які забруднюють повітря мають достатньо різноманітний склад із хімічних елементів і сполук, які впливають на навколишнє середовище. Найнебезпечнішими серед яких є:

- Окис/ діоксид вуглецю
- Оксиди/ діоксиди сірки
- Оксиди/ діоксиди азоту
- Вуглекислий газ
- Аміак
- Радіоактивні забруднювачі
- Сірка
- Озон
- Кадмій
- Ртуть
- Свинець

Таблиця 1.1 — Коротка характеристика основних збудників повітря

Забруднювач	Антропогенні джерела	Вплив на здоров'я	Екологічні наслідки
Озон (O ₃)	Вторинний забруднювач, утворений хімічною реакцією VOCs і NO _x в присутності сонячного світла.	Проблеми з диханням, знижена функція легень, астма, подразнює очі, закладеність носа, знижує стійкість до простудних захворювань і інфекцій, передчасне старіння легеневої тканини.	Пошкодження посівів, лісів та іншої рослинності; пошкодження гуми, тканини та інших матеріалів; смог зменшує видимість.

Продовження таблиці 1.1.

Оксиди азоту (NO _x)	Спалювання викопного палива: бензину, природного газу, вугілля, нафти. (Автомобілі є основним джерелом NO _x .)	Пошкодження легенів, респіраторні захворювання, шкідливий вплив озону (утворення смогу).	Шкідливий вплив озону (утворення смогу); призводить до утворення кислотних дощів, які завдають шкоди деревам, озерам і ґрунту; аерозолі зменшують видимість. Кислотні дощі також призводять до погіршення міської інфраструктури, що в свою чергу до додаткових шкідливих викидів під час робіт по відновленню.
Окис вуглецю (CO)	Спалювання викопного палива: бензину, природного газу, вугілля, нафти.	Знижує здатність крові доводити кисень до клітин організму і тканин.	
Летючі органічні сполуки (VOCs)	Спалювання викопного палива: бензину, природного газу, вугілля, нафти. Викиди підприємств органічної хімії.	Шкідливий вплив озону (утворення смогу), є активним канцерогеном, а також призводить до виникнення тяжких захворювань в першу чергу дихальної системи.	Шкідливий вплив озону (утворення смогу) пошкодження рослинності.
Летючі тверді частки	Утворюються в результаті хімічних реакцій; спалювання деревини, викопного палива; в результаті діяльності промислових підприємств, в результаті діяльності сільськогосподарства та інші.	Призводить до розвитку захворювань дихальної, зорової системи. Більшість твердих частинок, які утворись в результаті діяльності підприємств є активним канцерогенами.	Є однією із причин утворення смогу. Пошкодження інфраструктури. При випаданні на землю, забруднення усіх сфер Землі: літосфери – зміна складу ґрунту, його отруєння і забруднення, гідросфери – зміна складу водойм, отруєння їх мешканців – корінні зміни у біосфері.

Продовження таблиці 1.1.

Діокси д сірки (SO ₂)	Спалювання викопного палива: вугілля та нафти, особливо вугілля із високим вмістом сірки; в результаті діяльності промислових підприємств особливо підприємств деревообробної і металургічної промисловості.	Призводить до розвитку в першу чергу захворювань дихальної, імунної, нервової і ендокринної систем, а також завдає значну шкоду репродуктивним функціям організму. Розвиток хронічних захворювань дихальної системи. Призводять до постійного пошкодження легенів.	Призводить до утворення кислотних дощів, які в свою чергу завдають значної шкоди усім сферам Землі в результаті випадання.
Свинець	Спалювання викопного палива та етилованого бензину; випари лакофарбової продукції; діяльність промислових підприємств металургічної промисловості виробництво елементів живлення.	Призводить до розвитку захворювань нервової, ендокринної, імунної та кровоносної системи, системи травлення та інших систем організму, а також завдає значну шкоду репродуктивним функціям організму. Призводить до пошкодження мозку. Деякі хімікати, що містять свинець, є надзвичайно активними канцерогенами.	Значна шкода завдається усім сферам Землі.
Ртуть	Спалювання викопного палива, утилізація відходів, діяльність промислових підприємств металургічної хімічної та видобувної промисловості.	Призводить до розвитку захворювань нервової, імунної, ендокринної та кровоносної системи, системи травлення та інших. Завдає значну шкоду репродуктивним функціям організму та центральної нервовій системі.	Значна шкода завдається усім сферам Землі. Накопичує ся в харчовому ланцюжку збільшуючи шкідливий вплив для кожного наступного члена даного ланцюга.

Продовження таблиці 1.1.

Поліцикличесні ароматичні вуглеводні сполуки і ПАХs	Спалювання викопного палива особливо автомобільного палива. Лісові пожежі.	Призводить до розвитку захворювань дихальної, зорової та кровоносної системи. Деякі поліцикличесні ароматичні вуглеводні сполуки є канцерогенами.	Значна шкода завдається усім сферам Землі.
---	--	---	--

Ще одним значним забрудником повітря є парникові гази. Завдяки збереженню тепла Сонця в атмосфері Землі, парникові гази призводять до збільшення температури Землі, що призводить до значних змін клімату, і зміщення кліматичних поясів і зон: підвищення рівня моря, більш екстремальних погодних умов, смертей, пов'язаних з нагріванням, і збільшення передачі інфекційних захворювань, таких як хвороба Лайма.

1.4. Постановка задачі

Враховуючи визначний вплив, якості повітря на життя і життєдіяльність населення Землі, надзвичайно важливим є процес постійного підвищення його якості. Цього можна досягти багатьма різними способами. Найбільш дієвими способами є способи, які направлені на зменшення забруднення повітря безпосередньо в рамках джерела забруднення. В рамках одного підприємства ця задача є тривіальною, але водночас ця задача не є комплексною. А для досягнення глобального ефекту необхідним є системний підхід до вищезазначеної проблеми.

Саме ці проблеми і лягли в основу теми даної магістерської дисертації: оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового регіону.

Метою даної роботи є: формування математичного апарату для обчислення оптимальних з економічної точки зору об'ємів викидів для підприємств промислового регіону, які задовольняють гранично-допустимі екологічні норми.

Об'єктами дослідження є підприємства промислового регіону.

Предметом дослідження виступатимуть кількісні характеристики шкідливих викидів підприємств промислового регіону.

Для досягнення мети магістерської дисертації необхідно виконати правильно постановку задачі. В першу чергу треба сформулювати основні критерії і умови, які необхідно взяти до уваги. Як було зазначено в попередньому розділі 1.7, до вирішення проблеми повинно застосувати системний підхід і розглядати окремі підприємства не є достатнім, тому в контексти даної дисертації розглядатимемо це питання на рівні промислового регіону. У промисловому регіоні, який розглядається, необхідно виділити промислові підприємства, які є джерелами аерозольних забруднень повітря. Склад вищезазначених аерозольних викидів для простоти представлення концепції вважатимемо однаковим. Також у промисловому регіоні виділимо екологічні зони, в яких буде задано гранично допустимі концентрації аерозольних забруднень. Важливо мати на увазі особливості підприємств і можливості їх модернізації, і оптимізації виробництва, за рахунок чого може бути досягнуто зменшення шкідливих викидів. Даний аспект є надзвичайно важливим для рішення цієї задачі, адже необхідно зберегти економічну доцільність існування підприємства і його конкурентоспроможність на внутрішньому/зовнішніх ринках. Формалізуємо усі вищезазначені умови і виконаємо постановку задачі оптимізації.

Нехай в заданому регіоні G з кордоном L розташовані n промислових підприємств A_i ($i = \overline{1, n}$) з координатами $\bar{r}_i(x_i, y_i, z_i)$, що викидають щомиті Q_i аерозолів, склад яких для простоти будемо вважати однаковим (рисунок 2.1). Для кожного підприємства задано коефіцієнт k_i ($i = \overline{1, n}$). k_i – це коефіцієнт, що визначає капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів). Будемо вважати також, що регіон G являє собою циліндричну область з бічною поверхнею S_L , поверхнею основи S_0 ($z = 0$) і верхньою поверхнею S_H ($z = H$). У цьому регіоні виділимо m екологічних зон G_k ($k = \overline{1, m}$) із заданою гранично допустимою концентрацією випавших аерозолів за час $[0, T]$, де T – річна періодичність.

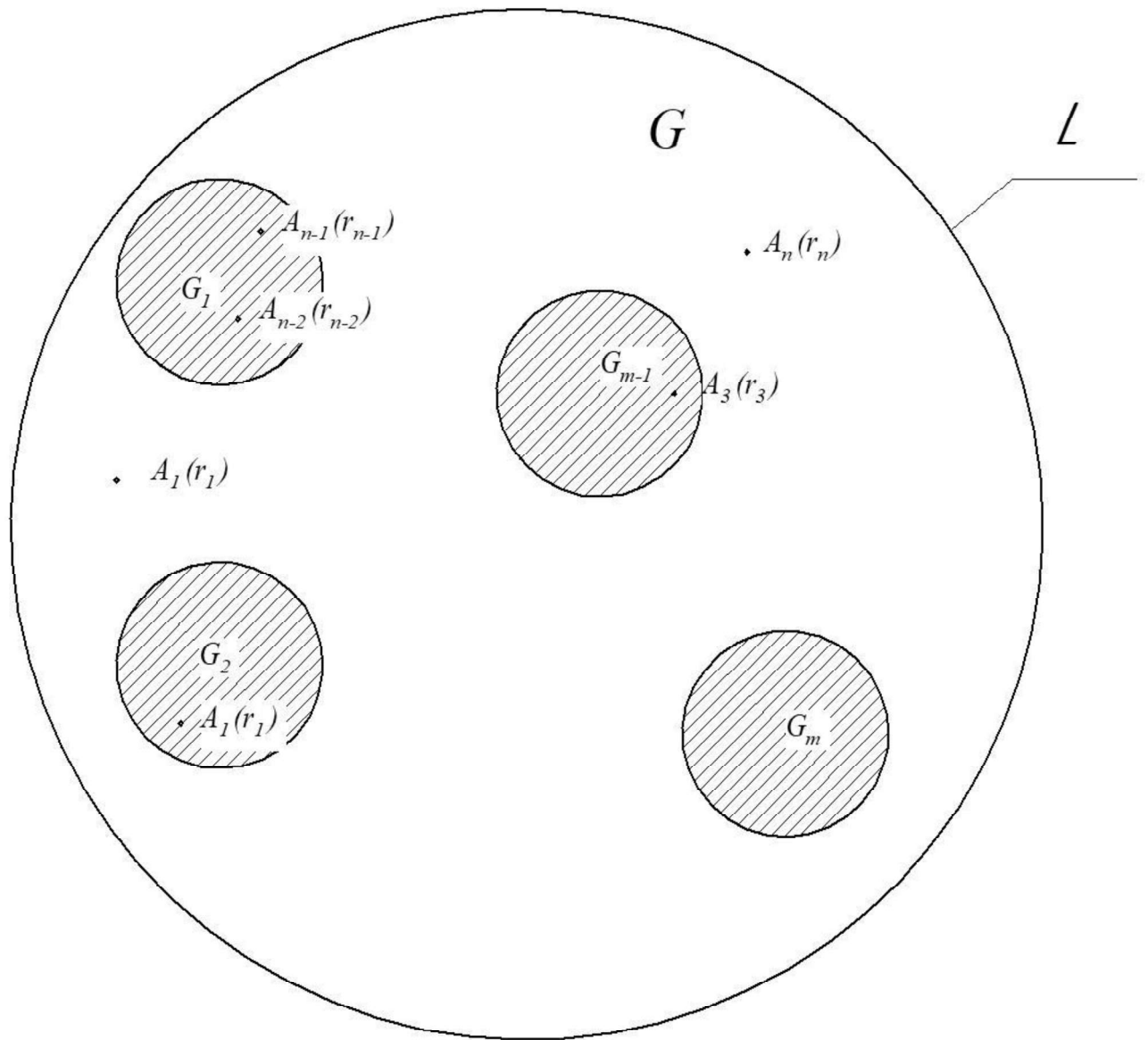


Рисунок 1.1. Карта розташування підприємств і екологічних зон в промисловому регіоні

Гранична допустима концентрація аерозолів задається санітарними норми для кожної з екологічних зони і позначається як C_k ($k = \overline{1, m}$).

Завдання полягає у визначенні для кожного підприємства такої максимально допустимої кількості аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.

1.5.Висновки за розділом

В даному розділі наведено класифікацію техно-екологічних аномалій, зроблено огляд основних причин їх виникнення і розвитку. Оглянуто величини, які є характеристичними для дослідження і оцінки техногенної загрози навколишньому середовищу, а саме поняття техно-екологічного навантаження на регіон і екологічного ризику. Проаналізовано характеристики стійкості регіону до забруднення. Надано загальну характеристику екологічної проблеми забруднення повітря. Надано класифікацію і характеристику аерозольним забрудненнями, визначено їх склад, джерела, а також їх вплив на людину и природу в цілому. Наведено математичні моделі для вищезазначених взаємодій. Сформовано тему і мету магістерської дисертації. Визначено предмет і об'єкт дослідження. Виконано постановку задачі оптимізація шкідливих викидів підприємств даного промислового регіону, яка полягає у визначенні для кожного підприємства такої максимально допустимої кількості аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Загальна характеристика аерозолів

Термін аерозоль представляє собою суспензію рідких і/або твердих частинок речовини в газоподібному середовищі. Термін походить від газоподібних аналогів гідрозолів (hydrosols грц. - "частинки води") і відноситься до колоїдної суспензії частинок в рідині. Аерозолі це двоагрегатні системи, що складаються з підвішених частинок речовин у твердому або рідкому агрегатному стані, і речовини у газоподібному агрегатному стані, що містить у собі попередню речовину у підвішеному стані. Аерозолі утворюються шляхом кристалізації речовин у газоподібному стані і утворення суспензії із речовиною, яка залишилась у газоподібному стані, або в результаті розпаду речовини у рідкому або твердому стані рідин або дрібні складові, які здатні утворювати суспензії із базовою газоподібною речовиною [1].

Аерозолі досить розповсюдженні. До аерозолів можна віднести частинки ґрунту підняті в повітря, волога із атмосфери утворює аерозолі у вигляді хмар, зварювальні гази, газоподібні викиди від підприємств, вулканічний попіл і летючі речовини утворені в результаті вулканічного виверження, сигаретний дим і сольові частинки, утворені з океанські спреї та інші. Прикладами аерозолів також є багато зазвичай відомих явищ, такі як пил, зважені частинки речовина, дим, природні снігові бурі, піщані бурі, тумани, хмари, смог, вугільного пилу, цементного пилу, азбестового пилу, техногенні хмари тощо.

Актуальність проблеми обчислення фізичних і хімічних характеристик аерозолів, побудови математичних моделей аерозолів і прогнозування характеру їх розповсюдження різко зросла протягом останніх кількох десятиліть у різних галузях, включаючи екологічну галузь, галузь охорони здоров'я населення, атмосферології, нанотехнології, хімічна, металургійні, фармацевтичні галузі промисловості та медицини. Наприклад, інженери-екології виконують алгоритми вимірювання і аналізу аерозолів для формування для робочих підприємств і жителів навколишніх районів безпечних умов праці і життя і запобігають небезпечному впливу аерозолів і формуванню їх небезпечної

концентрації, в той час атмосферологи вимірюють концентрації аерозолів і формують їх математичні моделі для розуміння впливу на клімат Землі, і знаходження шляхів зменшення або навіювання їх впливу на Землю і її населення.

Зі збільшенням області застосування математичного апарату обчислення характеристик аерозолів і зі збільшенням вимог до них зі сторони державного регулювання, дані обчислення займають значну кількість часу і вимагають велику кількість обчислювальних ресурсів. Окрім самих складності самих вимірювань і обчислень, значної складності набуває і методи інтерпретації цих обчислень. І в першу чергу вони залежать від надійних вимірювань фізико-хімічних характеристик аерозолів.

2.2.Класифікація аерозолів

Зведена класифікація аерозолів і аерозольних складових наведена на рисунок 2.1. Це вказує на типові діапазони розмірів частинок для аерозолів. Оскільки інтерес до вибірки аерозолію часто мотивується можливими наслідками для здоров'я, які можуть виникнути, якщо частинки вдихаються людиною, то класифікація включає також резюме деяких відповідних діапазонів медичних показників - вдиhaє, торакальне, трахеобронхіальне. Розмір частинок є найважливішим властивістю частинок, що входять до складу аерозолів. Для сферичної частинки її визначення є очевидним, що включає єдиний розмір - геометричний діаметр частинок (d) [2]. Однак для частинок, які не є сферичними, досить складно визначити спосіб оцінки розмірів частинок. Тому доцільно визначати розмір частинок у вигляді одного або декількох еквівалентних діаметрів. Наприклад, еквівалентний об'ємний діаметр (d_v) - це діаметр сфери, що має той же об'єм, що й дана частинка. Аналогічно, ми маємо еквівалентну площу проекції та еквівалентні діаметри поверхні. Але навіть і ці виміри не є достатніми для будь-яких типів частинок. Але для загальної кількості їх достатньо. Для описання цих речовин зазвичай приймають до уваги їх геометричні конфігурації, аеродинамічний діаметр частинок, та їх концентрацію, що має суттєвий вплив на їх поведінку у повітрі.

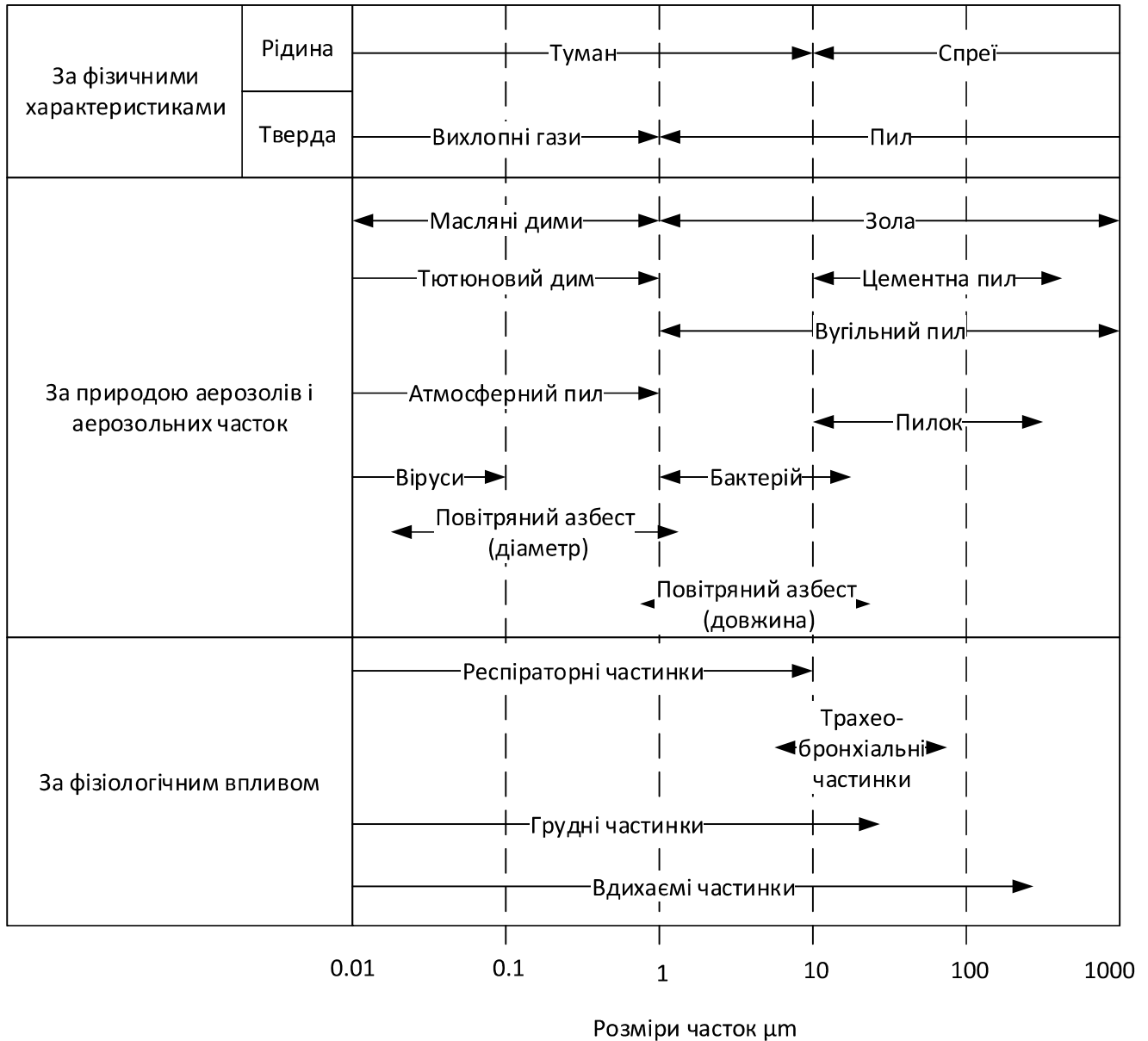


Рисунок 2.1. Зведена класифікація аерозолів і аерозольних складових. Дифузія аерозолів

Неупорядкований рух молекул газу викликає дифузію газоподібної речовини і летючих часток твердої речовини, за умови що присутній градієнт концентрації молекул газу и твердої речовини [1]. Таким чином можна зазначити, що у випадку, коли в об'ємі суспендуючій газовій суміші (аерозольної суміші) існують області які відрізняються за складом і концентрацією хімічних речовин має місце дифузія газу. Дифузія газу призводить до того, що зважені частинки набувають швидкість, яка залежить від функції дифузії газу. Це явище відоме як дифузіофоре́з. Дифузіофоре́з це явище при якому частинки виштовхуються в напрямку більшого потоку молекули. Сила є функцією

молекулярного ваги і коефіцієнтів дифузії газу і в значній мірі не залежить від розміру часток. Наприклад, в дифузійному засобі для розкладання амальгами, молекули газу SO_2 можуть дифундувати до поглинаючої поверхні завдяки їх високій дифузії. Частинки сульфату, які більше і тому мають більший коефіцієнт дифузії, будуть просочуватися через пристрій. Таким чином, молекули газу SO_2 відокремлюються від сульфатної частинки.

В першу чергу розглянемо молекулярну дифузію. Дифузія завжди викликає рух молекул від більш високої концентрації у напрямку більш низької. Як і в електротехніці із точки із найбільшим потенціалом до точки із мінімальним потенціалом. Так само і потік молекул газу під час дифузії, J , направлений в напрямок більш низької концентрації [1]. Таким чином, якщо розглядати просту одновимірну дифузію, потік молекул газу можна описати наступним чином:

$$J = -D \frac{\partial C_g}{\partial x} \quad (2.1)$$

де x - напрямок дифузії,

C_g - концентрація,

D - константа пропорційності, або коефіцієнт дифузії.

Коефіцієнт дифузії для газу з молекулярною вагою M .

$$D = \left(\frac{3\sqrt{2}\pi}{64C_g d_{molec}^2} \right) \left(\frac{RT}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

де C_g - кількість молекул газу/ м^3

d_{molec}^2 діаметр молекулярних зіткнень ($3,7 \times 10^{-10}$ м для повітря). Коефіцієнт дифузії «молекул» при температурі 293 К становить $1,8 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Розглянемо дифузію частинок. Дрібні частинки можуть отримувати певну енергію, яка перетворюється у кінетичну енергію руху за умов дифузійного руху молекул газоподібного середовища, із яким частинки утворюють аерозоль. Фізичні властивості даного процесу дуже схожі на ті, які описані для молекулярної дифузії. Різниця полягає тільки в розмірі частинок і

формі. Через велику інерцію летючих часток і велику площу поверхні сили необхідні для того щоб зрушити цю частку більше ніж молекулу газу. Тому у розрахунках приймають до уваги усереднену енергію зіткнень молекул газу із летючими частками, які входять до складу аерозолів. Таким чином можна зробити висновок що, великі частинки дифундують повільніше, ніж дрібні частинки [1].

Коефіцієнт дифузії або дифузія летючої частинки в газі, D , можна обчислити за допомогою наступної формули:

$$D = \frac{kTC_c}{2\pi\eta d_p} = kTB \quad (2.3)$$

де k , постійна Больцмана, яка становить $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ N} \cdot \text{м} / \text{K}$ [$1.38 \cdot 10^{-16} \text{ dyne} \cdot \text{cm} / \text{K}$]

B - механічний мобільність.

Дифузія частинок, відома також під назвою «Броунівський рух», відбувається через відносно високу швидкість дрібних частинок і іноді корисно оцінити, наскільки далеко в середньому, ці частинки рухаються в заданий час. Цю дистанцію можна підрахувати за наступною формулою:

$$x_{rms} = \sqrt{2Dt} \quad (2.4)$$

де D – коефіцієнт дифузії або дифузія летючої частинки в газі

t – час руху.

2.3. Математична модель руху аерозолів

Розуміння математичних основ перенесення аерозольних мас, тобто, як аерозольні частинки рухаються в просторі, має фундаментальний значення для їх подальшого вивчення і аналізу. Аерозолі складаються з двох компонентів: частинок твердої або рідкої речовини і газу (зазвичай повітря) -середовища, в якому вони підвішені. Фізика руху повітря є основою поведінки зважених частинок у аерозольній суміші. На мікроскопічному рівні – підвішені частинки

мають вплив на потік повітря в деякому okolí самої частинки, а отже, і до сили, що діє на неї. Це обумовлено тим, що кожна частинка змінює потік газу над і навколо неї через власні фізичні властивості. На іншому, макроскопічному рівні, це стосується поведінки великомасштабних рухомих повітряних мас, і можуть характеризуватися переносом частинок з однієї точки в іншу інші або їх властивістю випадати на поверхню і підніматися з неї повертаючись до аерозольної суміші.

Газ, в якому суспендовані частинки, складається з молекул, які стикаються один з одним або об'єкт поблизу. Для опису таких фізичних явищ використовується опис безперервності (континууму) рідини (газ та рідина є взаємозамінними у контексті даної роботи), це спрощено обумовлене можливістю знехтувати тим фактом що аерозоль складається із дискретних молекул. Такі властивості, як щільність, тиск, температура і швидкість приймаються як добре визначені на нескінченно малих точках, і вони вважаються незмінними від однієї точки до іншої.

Таким чином для розуміння механізму переносу аерозольних мас, важливо зрозуміти основні фізичні поняття потоку рідини (газу), в якому частинка підвішена, механізми і закони взаємодії однієї частки з іншими і з навколишнім газом тобто, як частинка поводить себе під дією різних зовнішніх сили, що діють на неї.

В основі опису аеродинамічної поведінки зважених частинок знаходиться набір рівнянь, що описують рух самого повітря. Вони впливають із застосувань другого закону Ньютона

$$\text{Маса} * \text{прискорення} = \text{сума сил, що діють на об'єкт} \quad (2.5)$$

,який знаходиться у тривимірному, нестисливому, елементарному обсягу повітря рисунок 2.2. Нехтуючи внутрішніми силами тіла (наприклад, ефекти плавучості, тощо), ми маємо формулу (у векторній формі) для одиниці об'єму:

$$\rho \frac{D\bar{u}}{Dt} = \text{поверхневі сили} \quad (2.6)$$

де \bar{u} – локальний вектор швидкості повітря, ρ - щільність повітря. Оператор ліворуч забезпечує «базове» прискорення, що є місцевим додатком через нестационарний рух разом з конвективним вкладом через:

$$\frac{D\bar{u}}{Dt} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \text{ grad}) \bar{u} \quad (2.7)$$

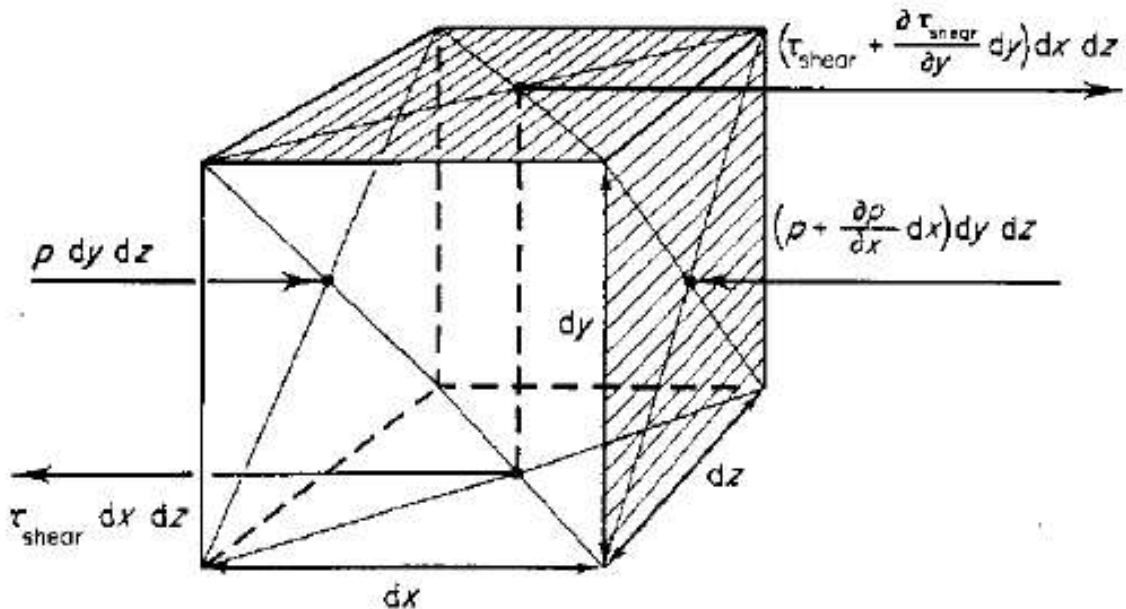


Рисунок 2.2. Тривимірний елементарний об'єм повітря, на якому базується виведення рівняння механічного руху рідини в просторі.

Яка в найпростішому випадку стійкого потоку зменшується до

$$\frac{Du_x}{Dt} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (2.8)$$

для напрямку x , і аналогічних рівнянь для напрямків y і z . Поверхневі сили що діють на елементарний об'єм повітря, показані на рисунок 2.2, і виникають внаслідок поєднання нормальних сил (пов'язаних з градієнтом місцевого статичного тиску) і сил зсуву (пов'язаних з розсіюванням енергії через

в'язкість). Для простоти визначення базових концепцій розглянемо рух в одному напрямку – напрямку x , як зазначено на малюнку [2]. Оцінка нормальних сил статичного тиску є досить простою і очевидною і дорівнює, для одиниці об'єму:

$$\text{Сила нормальної реакції} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.9)$$

де p - локальний статичний тиск, а негативний знак виникає в наслідок того, що напрямок сили є таким, щоб переносити повітря з областей із більш високим до областей меншим статичним тиском.

Аналіз зсувних сил представляє собою більшу складність, для його виконання необхідно зробити деякі напівемпіричні припущення для того, щоб можна було продовжити опис. Відповідно до Закону Гука для пружних твердих тіл і, за аналогією, для рідин, запишемо формулу, яка описуватиме локальну напругу зсуву:

$$\tau_{\text{зсуву}} \sim \eta \frac{\partial u_x}{\partial y} \quad (2.10)$$

де η – в'язкість повітря,

$\frac{\partial u_x}{\partial y}$ – локальний градієнт деформації у напрямку y , пов'язаний зі змінами спричиненими швидкістю повітря в напрямку x . Рідини, що підкоряються цим законам, називаються ньютонівськими, і повітря входить до цієї категорії. Це забезпечує основу для отримання сили зсуву. Розрахунок сила зсуву для одиниці об'єму приймає наступний вигляд:

$$\text{Сили зсуву} = \frac{\partial \tau_{\text{зсуву}}}{\partial y} = \eta \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \quad (2.11)$$

Повний набір динамічних рівнянь для опису руху повітря включає в себе вищезазначені рівняння руху (по одному для кожного з трьох вимірів) разом з відповідними моделями для нормальних сил і сил зсуву, що діють на визначену

одиницю об'єму. Крім того, він включає рівняння безперервності. А разом цей комплекс рівнянь називаються рівняннями Нав'є-Стокса:

$$\underbrace{\rho_g \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right]}_{\text{Внутрішні сили}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{Сили із градієнта тиску}} + \underbrace{\eta \nabla^2 \mathbf{u}}_{\text{В'язкі сили зсуву}} \quad (2.12)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

де рідина вважається нестисливою. Це є основою всієї динаміки рідини, і застосовується для опису руху аерозольних мас. Від рівняння (2.12) можна перейти до його скалярного аналогу за допомогою певних еталонних величин, в результаті чого можна отримати наступне рівняння:

$$Re \left[\frac{1}{Str} \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \cdot \nabla' u^* \right] = -\nabla' p^* + \nabla'^2 u^* \quad (2.13)$$

де $u^* = \frac{u}{U}$, $p^* = \frac{p}{(\eta U / l_c)}$, $t^* = \frac{t}{t_c}$ та $\nabla' = l_c \nabla$ це скалярні параметри, отримані за допомогою векторних і розмірних характеристичних величин U, l_c, t_c швидкості, довжини і часу відповідно. Str у наведеному вище рівнянні є скалярним значенням і називається числом Стрехала (Strouhal number) і дорівнює:

$$Str = t_c U / l_c \quad (2.14)$$

Re - скалярне значення, що називається числом Рейнольдса (Reynolds number) визначається наступним чином:

$$Re = \frac{\rho_g U d}{\eta} = \frac{U d}{\nu} \quad (2.15)$$

де U – характеристична швидкість газу який представляє газову систему в цілому,

η – динамічна в'язкість газу,

ν – кінематична в'язкість газу

d – характерний розмір об'єкта, який, у випадку частинок, є їх діаметр.

Кінематична в'язкість газу обчислюється наступним чином:

$$\nu = \eta / \rho_g \quad (2.16)$$

Рівняння (2.13) показує, що для постійних потоків число Рейнольдса визначає відносну величину прискорення – ліва частина рівняння і в'язкий і градієнт тиску – права частина рівняння. Фізичне значення числа Рейнольдса визначається, як постійний потік повітря через елементарний об'єм, показаний на рисунок 2.2. З цього можна записати порядок діючих інерційних сил спираючись на другий закон Ньютона (Маса * прискорення = сума сил, що діють на об'єкт) як

$$|IF| \rightarrow \rho u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} \sim \rho \frac{U^2}{D} \quad (2.17)$$

для простоти зазначено рівняння тільки для напрямку x , для інших напрямків рівняння будуть аналогічними. Відповідний порядок величин в'язких зусиль зсуву на одному елементарному об'ємі може бути записаний як

$$|VF| = \frac{\partial \tau}{\partial y} \rightarrow \eta \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \sim \eta \frac{U^2}{D} \quad (2.18)$$

таким чином отримаємо наступне співвідношення:

$$\frac{|IF|}{|VF|} \sim \frac{\rho U D}{\eta} \quad (2.19)$$

що, як є ідентичним до значення числа Рейнольдса, яке визначено у (2.15).

Таким чином, з одного боку, для малого числа Рейнольдса, ми вважаємо, що в'язкі сили регулюють загальну природу потоку; з іншого боку, для великих значень числа Рейнольдса домінують інерційні сили. Релевантність числа Рейнольдса до динамічної поведінки потоків може бути встановлена з міркувань розмірів без явного введення будь-якої фізичної величини. Загальний висновок полягає в тому, що число Рейнольдса – найбільш важлива скалярна величина для характеристики динамічної природи будь-якого потоку рідини.

Число Рейнольдса, визначене в рівнянні (2.15), представляє співвідношення інерційних сил до в'язких сил у потоці рідини і часто використовується для опису умов потоку в аерозольних системах. Типовий шаблон руху потоку, і у випадку "гладкого" і у випадку турбулентного потоку, регулюється співвідношенням числа Рейнольдса представленого у рівнянні (2.2). В результаті того, що скалярна величина характеризує потік, можна зробити висновок, що вона є функцією від щільності газу ρ_g , а не щільності частинок, які входять до складу аерозолі. За нормальних умов, які відповідають температурі 293 K [20 °C] і тиску 101 kPa [1 atm], щільності газу $\rho_g = 1.192 \text{ kg/m}^3$, тоді динамічна в'язкість газу дорівнює $\eta = 1.833 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, що дозволяє спростити рівняння (2.15) до наступного вигляду:

$$Re = 6,5 \cdot 10^4 \cdot U \cdot d \quad (2.20)$$

У наведеному вище рівнянні (2.20) характеристичний розмір d залежить від потоку рідини. У випадку аерозолі, що протікає в круговій трубці можливі два варіанти в залежності від того, що є метою дослідження. Якщо для досягнення мети дослідження основна характеристика, яка представляє інтерес, є безпосередньо потік в середині трубки, у такому випадку необхідно використовувати діаметр поперечного перерізу трубки як характеристичний розмір для розрахунку числа Рейнольдса для потоку Re_f . Якщо для досягнення мети дослідження основна характеристика, яка представляє інтерес, це поведінка

потoku у трубці навколо підвішеної частинки, у такому випадку необхідно використовувати значення діаметру частинки і відносну швидкість частинки для розрахунку числа Рейнольдса для частинки Re_p .

Рішення рівнянь Нав'є – Стокса в рівняннях (2.12) дає векторне поле швидкості в тривимірному простір. Потоки є лініями поля, що впливають з цього векторного поля, що описує потік. Потокова лінія є дотичною до миттєвого напрямку швидкості і показує напрямок нескінченно малого об'єму рідини, що подорожує, в будь-який момент часу.

Векторне поле є хорошим способом візуалізації природи потоку рідини і схожий на те, що можна було б спостерігати у разі візуалізації потоку за допомогою відповідного індикатору, наприклад диму. За визначенням, у стійкому потоці лінії течії не перетинається, тому що частка не може мати дві різні швидкості в одній точці.

Рішення рівнянь Нав'є-Стокса можуть, в принципі, дозволяють визначити закономірності руху повітря для будь-якого набору граничних умов і для заданого значення числа Рейнольдса. Однак, на практиці, досить важко знайти рішення для всіх рівнянь Нав'є-Стокса, крім простого плоского двовимірного рівняння. Проте цей простий випадок може бути використаний для ілюстрації основних принципів. Тут для постійного потоку рівняння Нав'є-Стокса можуть бути переписані наступним чином:

$$\begin{aligned} u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left\{ \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right\} \\ u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left\{ \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right\} \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (2.21)$$

Термін тиску може бути спрощений шляхом диференціації першого рівняння по y і другого рівняння по x і знаходженням їх різниці. Після цих перетворень з'являється ліва частина у третьому рівнянні, яка згодом зникає в силу безперервності. Виведемо функцію потоку на основі зазначених вище перетворень, в результаті цього отримуємо єдине рівняння, яке описує потік:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial y} = \eta \nabla^4 \psi \quad (2.22)$$

$$\text{де } u_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y}$$

$$u_y = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Яке може бути вирішеним для $(x$ та $y)$ із обраним значенням ψ для заданих граничних умов і числа Рейнольдса – Re . Таким чином можна представити типову схема протікання потоку рисунок 2.3. Об'ємний потік між сусідніми лініями потоку (або потоковими поверхнями) повинен залишатися постійним, так що розбіжність структури потоку узгоджувалась зі зменшенням швидкості рідини; і навпаки для конвергенції. Якісно це також означає, що для заданої конфігурації потоку картина потоків представляє траєкторії руху часток речовини, що рухаються за відсутності інерційних або зовнішніх сил. Таким чином, векторне поле є відповідним способом представлення природи фізичного явища потоку рідини, що узгоджується з тим, що можна спостерігати під час візуалізації потоку, такого як може бути досягнуто з використанням відповідного видимого індикатора (наприклад, диму).

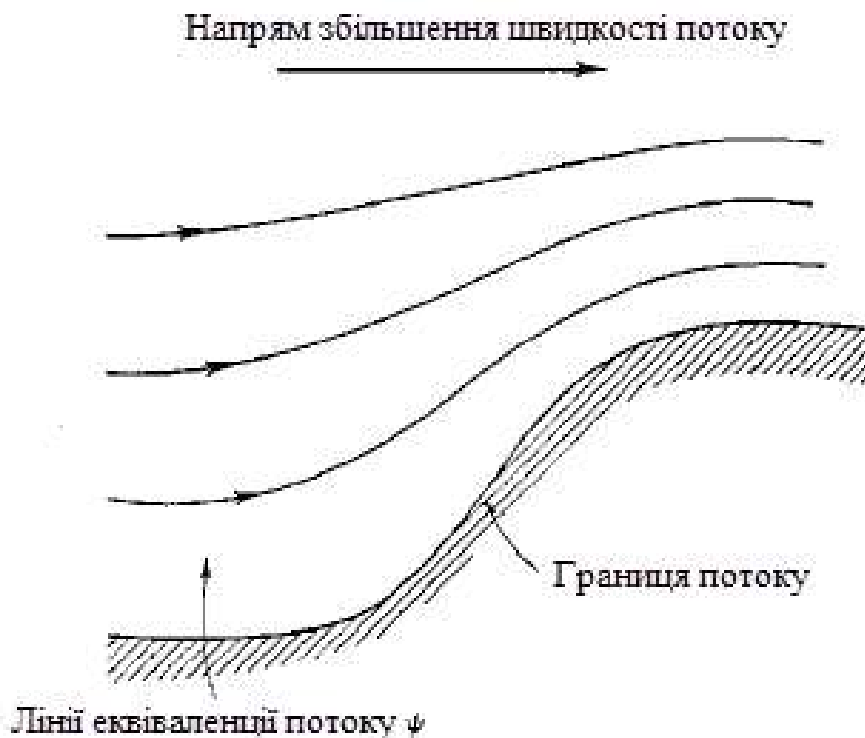


Рисунок 2.3. Типовий векторне поле потоку для ілюстрації їх природи.

Застосовуються рівняння (2.8), що описують потік рідини для нестисливого потоку, є істинним за умови, що щільність ρ_f рідини є постійною протягом всього досліджуваного проміжку і часу. Однак, коли швидкість газу, U , більше швидкості звуку, в цьому випадку газовий потік стає стисливим. Ступінь стиснення залежить від числа Маха – Ma , і визначається як

$$Ma = \frac{U}{U_{sonic}} \quad (2.23)$$

Коли $Ma \ll 1$, потік вважається нестисливим. Це випадок є релевантним для більшості випадків дослідження поведінки аерозолів. У повітрі за нормальних умов швидкість звуку складає 340 м/с.

Варто також розглянути різні види потоків. Зазвичай, у більшості джерел виділяють два основних види потоків: ламінарні та турбулентні потоки.

Безперервний потік газу описується як ламінарний або турбулентний, залежно від відносної важливості в'язких і інерційних сил. У випадку низьких чисел Рейнольдса, коли сили тертя є домінуючою складовою сил діючих на потік, у такому випадку потік називається ламінарним або «гладким» [1,2]. У ламінарному потоці вектори швидкостей газу і потоці є паралельними і односпрямованими (рис. 2.4, таким чином у такому потоці не відбувається перемішування або розрив між стабільними шарами, які виділяються у структурі потоку і представляються лініями векторного поля швидкостей руху газу у потоці).

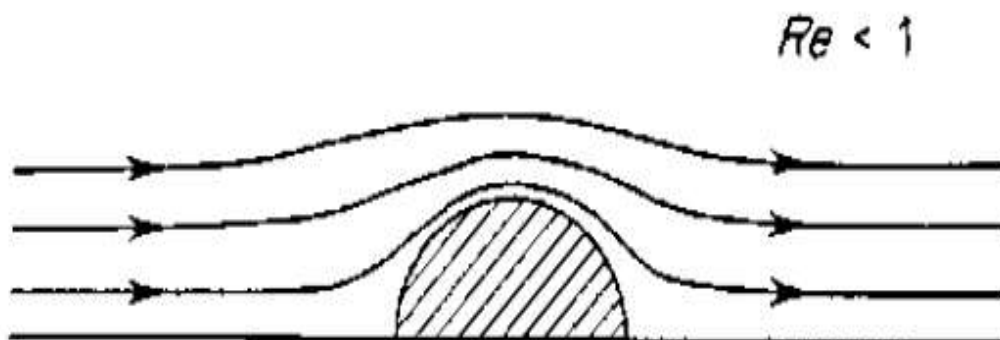


Рисунок 2.4. Ламінарний потік газу.

Зі збільшенням числа Рейнольдса, спостерігаються зміни у сумі сил діючих на потік, які характеризуються збільшенням вага сили інерції і починають утворюватися турбулентні вихори. Зі збільшенням числа Рейнольдса, зростає і хаотичність потоку, потік стає більш турбулентним за своєю природою, починається перемішування різних шарів потоку утворюються розриви між стабільними шарами. Такі потоки прийнято вважати турбулентними рисунок 2.5.

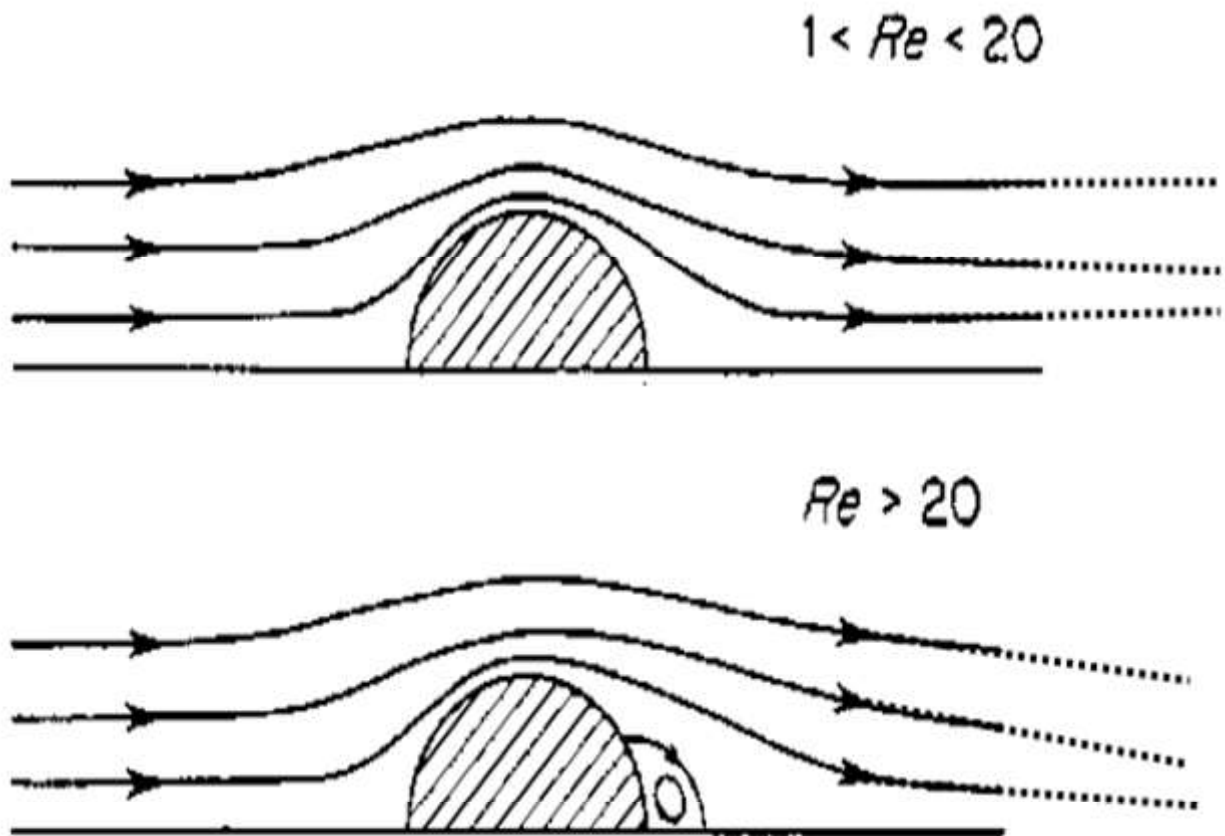


Рисунок 2.5. Турбулентні потоки газу. Збільшення ступеня турбулентності із збільшенням числа Рейнольдса.

Фактичне значення числа Рейнольдса для початку турбулентності залежить від характеру середовища, яким обмежений потік газу, наявності у цьому середовищі перешкод рисунок 2.6.

Наприклад, в круговому каналі ламінарний потік спостерігається для потоку, який характеризується числом Рейнольдса, яке менше 2000 одиниць, в той час для тих же умов потік, який характеризується числом Рейнольдса вище 4000 вже демонструє характеристики турбулентного потоку.

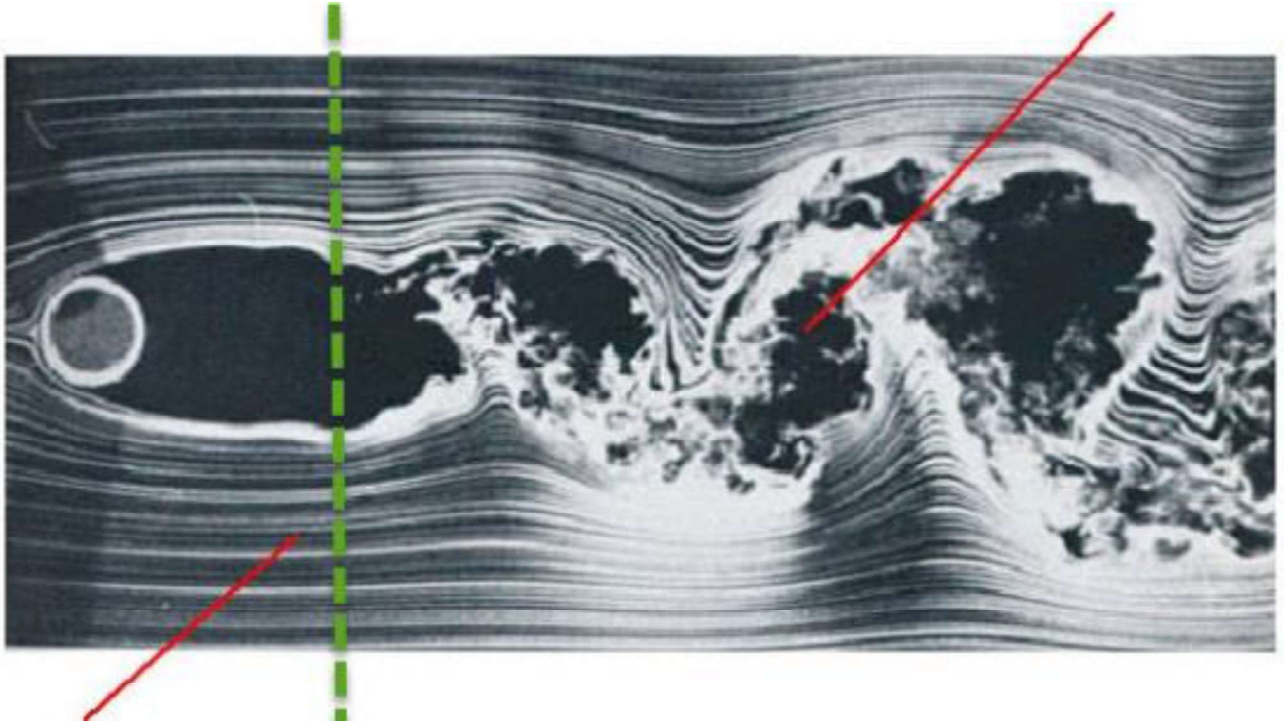


Рисунок 2.6. Ілюстрація зміни характеру потоку після зіткнення із перешкодою.

У проміжному діапазоні потік називається перехідним потоком і є чутливим до попередньої історії руху газу [1,2]. Наприклад, якщо швидкість газу дорівнює, або поволі збільшується, потік може залишатися ламінарним. Коли газ проходить навколо підвішеного об'єкта, такого як сфера, потік залишається ламінарним, якщо він характеризується числом Рейнольдса нижче 0,1 одиниць. Ламінарний потік на дуже малих чисел Рейнольдса $Re \ll 1$, що є характерною особливістю більшості аерозольних частинок, також називають «повзучим» потоком.

Прикордонний шар у потоці визначається як область поблизу кордону розділу середовищ. Як правило кордоном виступає тверда поверхня, у даному випадку в'язкість рідини відіграє надзвичайно важливу роль. Для «реальних» рідин поняття в'язкості вимагає, щоб швидкість рідини була на нулі поблизу кордону розділу двох середовищ. Прикордонний шар розглядається, таким чином, як область, в межах якої швидкість рідини йде від нуля, на кордоні зміни двох середовищ, до значення, що відповідає тому, що було б отримано при вирішенні Нав'є-Стокса рисунок 2.7.

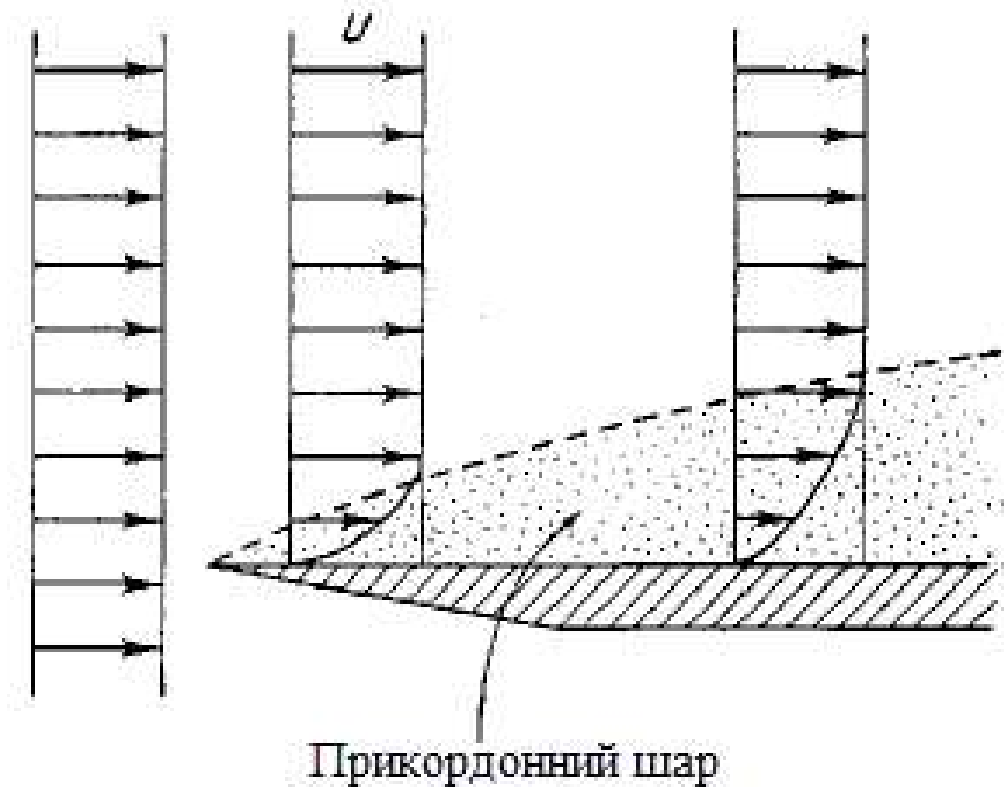


Рисунок 2.7. Ілюстрація поведінки потоку в типовому прикордонному шарі над плоскою твердою поверхнею.

Якщо розглянути потік, який знаходиться уздовж поверхні, він складається тільки з газу на поверхні, відносна швидкість якого дорівнює нулю.

При низьких числах Рейнольдса граничний шар зростає до досягнення стаціонарних умов. На прикладі потоку наведеного вище на рисунок 2.7, прикордонний шар переростає в параболічний профіль потоку, що заповнює циліндричний канал. При збільшенні числа Рейнольдса або під час різкої зміни умов потоку, прикордонний шар може почати відокремлюватися від поверхні. При проміжних значеннях числа Рейнольдса потік називається перехідним потоком і є чутливим до попередньої історії руху газу. Різні види поведінки прикордонного шару наведено на рисунок 2.8. Розвиток прикордонного шару і його зв'язок із загальним потоком залежить від фізичних характеристик об'єкту, зануреного у рідину.

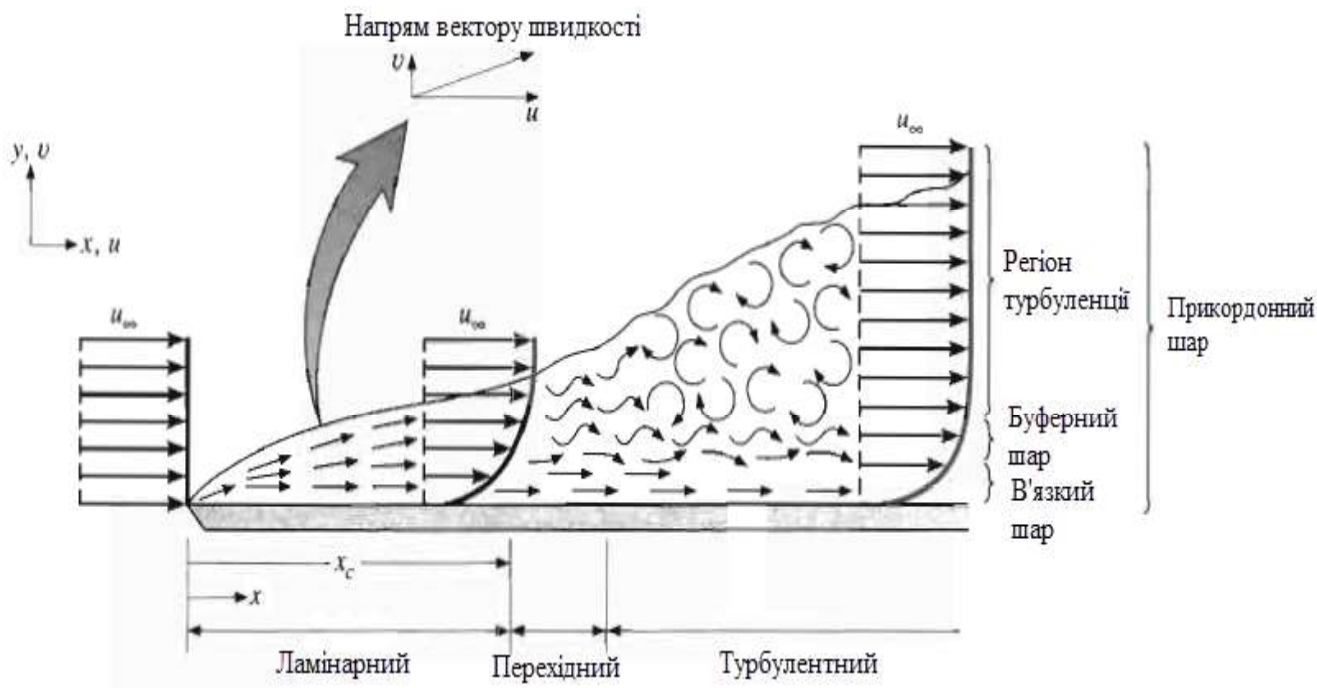


Рисунок 2.8. Ламінарний, перехідний і турбулентні види поведінки потоку у прикордонному шарі.

Враховуючи загальний характер потоку, ступінь значущості ефекту в'язкості є залежним від товщини прикордонного шару по відношенню до масштабу об'ємного потоку [2]. Можна показати, що товщина прикордонного шару потоку над великим тілом порівняно невелика порівняно з її товщиною для невеликого тіла у порівнянні із розмірами тіла. Це, звичайно, узгоджується з попереднім визначенням про число Рейнольдса, а саме, що Re для великого тіла, для заданої швидкості рідини, більше, ніж для меншого тіла.

Важливим для розуміння природи потоку є ефект застою. Застій відбувається у випадку, коли вся кінетична енергія рідини перетворюється в статичний тиск таким чином, що локальна швидкість рідини, в точці застою, дорівнює нулю (рис. 2.8). Саме тут статичний тиск потоку є найвищим. Це зазвичай відбувається, коли потік огинає поверхню тіла. Застій відбувається на поверхні тіла, в точках де вектори потоку перетинаються з тілом, таким чином як це показано на рис. 2.9.

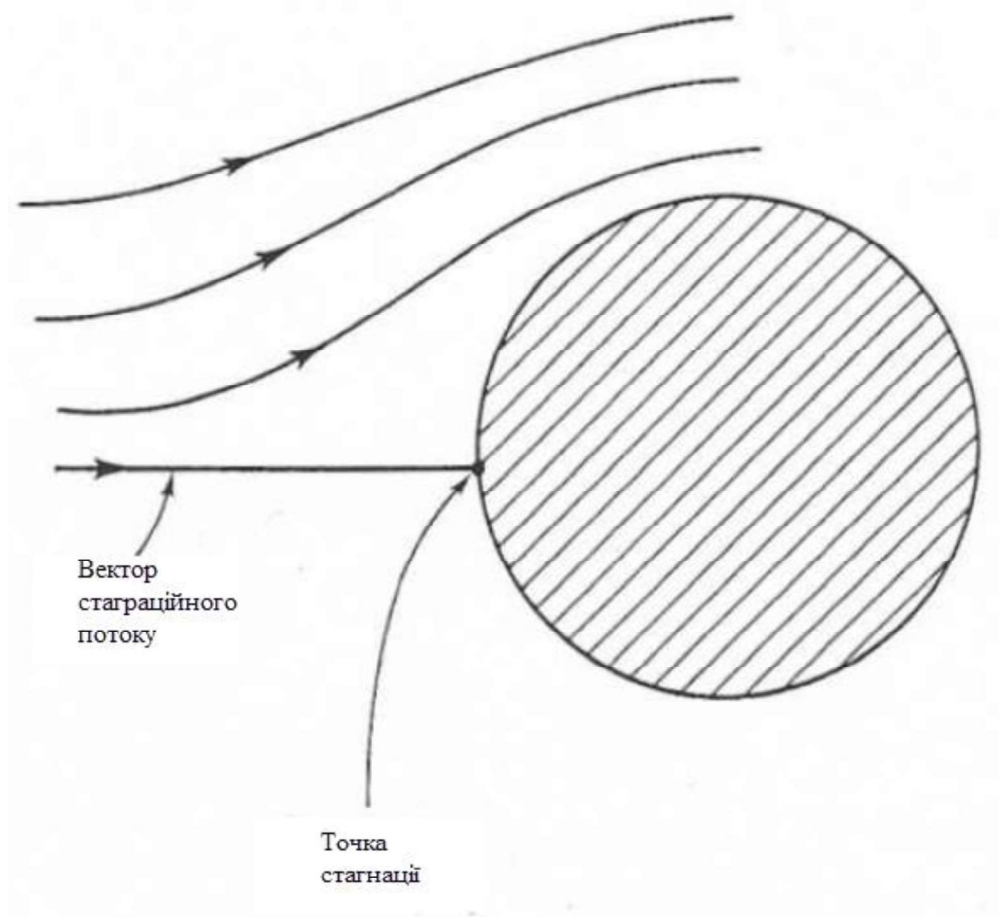


Рисунок 2.9. Ілюстрація стагнації у типовому шаблоні розповсюдженні потоку.

2.4.Висновки за розділом

В даному розділі виконано дослідження предметної області даної роботи. Сформовано загальну характеристику аерозолів. Виконано класифікацію аерозольних забруднень в залежності від розміру частинок, які входять до складу аерозолів. Дано визначення процесу дифузії. Розглянуто процеси дифузії молекул, які протікають у сумішах газів, а також процеси дифузії часток в аерозолях і їх взаємозв'язок із дифузією молекул. Визначено математичну модель руху аерозолів, яка представляє собою рівняння Нав'є - Стокс, що включають рівняння руху повітря (по одному рівнянню для кожного виміру), разом із відповідними моделями для нормальних сил і сил зсуву, а також рівняння безперервності. Описано поняття і величини важливі для розуміння природи аерозолів і їх поведінки, до яких можна віднести число Рейнольдса, число Стрехала, числа Маха та інші. Описано фізичні процеси, які протікають у аерозольному середовищі під час його руху. Наведено математичні моделі для

вищезазначених взаємодій. Дано визначення ламінарним, перехідним і турбулентним потокам газу. Розглянуто поведінку аерозолів на границі розділу середовищ, а саме поведінку прикордонних шарів, а також їх вплив на характер потоку аерозолію. Дано визначення поняттю застою у потоці.

РОЗДІЛ 3. ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ

3.1.Опис моделі

Газ, в якому суспендовані частинки, складається з молекул, які стикаються один з одним або об'єкт поблизу. Для опису таких фізичних явищ використовується опис безперервності (континууму) рідини (газ та рідина є взаємозамінними у контексті даної роботи), це спрощено обумовлене можливістю знехтувати тим фактом що аерозоль складається із дискретних молекул. Такі властивості, як щільність, тиск, температура і швидкість приймаються як добре визначені на нескінченно малих точках, і вони вважаються незмінними від однієї точки до іншої. Таким чином для розуміння механізму переносу аерозольних мас, важливо зрозуміти основні фізичні поняття потоку рідини (газу), в якому частинка підвішена, механізми і закони взаємодії однієї частки з іншими і з навколишнім газом тобто, як частинка поводить себе під дією різних зовнішніх сили, що діють на неї. В основі опису аеродинамічної поведінки зважених частинок знаходиться набір рівнянь, що описують рух самого повітря [3]. Як зазначалось у розділі 1 даної роботи, математична модель переносу і дифузії аерозолів в атмосфері описується рівнянням Нав'є-Стокса виду:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + v_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \Delta \varphi + \sum_{k=1}^m Q_k \delta(\bar{r} - \bar{r}_k) \quad (3.1)$$

де: $\varphi(x, y, z)$ – інтенсивність аерозольних субстанцій, мігруючої разом з потоком повітря в атмосфері;

$\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$ – вектор швидкості повітря уздовж осей x, y, z ;

ϑ – коефіцієнт вертикального турбулентного обміну;

μ – коефіцієнт горизонтального турбулентного обміну;

$\bar{r}_k(x_k, y_k, z_k)$ – місце розташування k -го промислового підприємства;

σ – коефіцієнт поглинання (обернено пропорційний часу).

Рівняння (3.1) відповідає поставленому завданню якщо наступні умови виконуватимуться

$$\begin{cases} \varphi = f_L \text{ на } S_L \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \varphi \text{ на } S_0 \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ на } S_H \end{cases} \quad (3.2)$$

де: f_L – ступінь початкового забруднення на бічній поверхні циліндричної моделі промислового регіону;

α – коефіцієнт, що характеризує ймовірність аерозольної субстанції, яка випала на поверхню Землі, знову потрапити в атмосферу, знов повернутись до аерозольної маси;

S_L – бічна поверхня циліндричної моделі промислового регіону;

S_0 – поверхнею основи циліндричної моделі промислового регіону;

S_H – верхня поверхня циліндричної моделі промислового регіону;

Вважаємо завдання кліматично періодичним з періодом T , який дорівнює року, тобто:

$$\varphi(\vec{r}, T) = \varphi(\vec{r}, 0) \quad (3.3)$$

Річний період обрано з урахувань, відносної стабільності кліматичних умов у рамках одного календарного року, а також для нівелювання сезонних особливостей погоди, для отримання універсального рішення для будь-якої із кліматичних зон.

До зазначених вище рівнянь (3.1) – (3.3) необхідно додати для кожного моменту часу співвідношення нерозривності для компонент вектору швидкості \bar{V} [4].

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} &= 0, \\ V_z &= 0 \text{ якщо } z = 0 \text{ та } z = H \end{aligned} \quad (3.4)$$

Вважитимемо, що $z = 0$ та $z = H$ є координатами границь розділу середовищ, в яких досліджується потік аерозолі, і базуючись на тому, що було зазначено у розділі 1, можна зробити висновок, що значення швидкостей аерозольних субстанцій у цих площинах наближається до 0.

За наявності математичної моделі переміщення аерозольних субстанцій і необхідних обмежень в яких її значення відповідають поведінці реальної системи, необхідно ввести систему обмежень, пов'язаних із гранично допустимим санітарними нормами, для обмеження області можливих рішень тільки тими, що відповідають поставленим умовам. Для цього необхідно визначити формулу розрахунку дози забруднення екологічної зони. Також варто взяти до уваги, що задача, рішення якої необхідно знайти є піродичною із періодом рік. Розрахункова формула річної дози забруднення для k -ї екологічної зони має вигляд:

$$F_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi dG, \quad (3.5)$$

де

$$P_k = \begin{cases} 1, & \text{при } \bar{r} \in G_k \\ 0, & \text{при } \bar{r} \notin G_k \end{cases} \quad (3.6)$$

і враховує забруднення k -ї екологічної зони.

І для виконання необхідної умови поставленої задачі середньорічні гранично допустимі дози аерозольного забруднення повинні перевищувати або дорівнювати сумірній річній дозі забруднення обраної екологічної зони. Таким чином річній дози аерозольного забруднення повинні задовольняти наступній умові:

$$F_k \leq C_k, (k = \overline{1, m}) \quad (3.7)$$

де C_k – задані санітарні норми для k -ї екологічної зони.

За наявності розрахункового функціоналу (3.5), який застосовується для визначення річної, і обмежень (3.7), можливо перевірити чи відповідає поточна інтенсивність аерозольних викидів заданим умовам (3.7), тобто чи відповідає заданим граничним санітарним нормам. У випадку, який розглядається, необхідно знайти таку сукупність планованих викидів аерозолів Q_{pi} , яка при зменшенні викидів забезпечує випуск того ж обсягу продукції з мінімізацією витрат на технологічну реконструкцію і задовольняє заданим граничним санітарним нормам. Для вирішення цієї задачі необхідно ввести додатковий функціонал, який поєднає у собі зазначені вище, ще не враховані умови вирішення задачі. В якості такого функціоналу приймемо

$$I = \sum_{i=1}^n k_i (Q_{ni} - Q_{pi}) \rightarrow \min \quad (3.8)$$

де: Q_{ni} – вихідна потужність викидів i -го підприємства;

Q_{pi} – планована потужність викидів i -го підприємства, яка задовольняє усім представленим вимогам;

k_i – коефіцієнт, що визначає капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів, в даному випадку даний коефіцієнт представляє собою коефіцієнт капіталовкладень на одиницю викидів.

Таким чином отримано функціонал, в якому вражатиметься критерій оптимальності. Рішення буде оптимальним при мінімальній зміні об'ємів викидів, за рахунок цього ми функцію оцінки рішень, які належать до області значення можливих рішень. Завдяки цьому критерію буде обрано мінімально можливе зменшення, у найкращому випадку це буде при $Q_{ni} = Q_{pi}$ тобто зміни у виробництві не потрібні. Ця умова задовольняє економічну складову задачі, що розглядається у цій роботі. Рівняння (3.5) – (3.7) забезпечать вибір допустимих рішень поставленої задачі. Ці умови націлені на максимізацію зменшення викидів підприємствами для задоволення екологічних умов поставленої задачі. Таким чином в результаті ранжування допустимих рішень задачі за допомогою

функції оцінки або критерія оптимальності (3.8), буде обрано найкраще рішення з економічної точки зору, яке б задовольняло екологічний критерій.

Рішення поставленої задачі (3.1) – (3.8) в аналітичному вигляді представляє значну складність, і отримання цього аналітичного рішення буде пов'язане із певними припущеннями і спрощеннями моделі, що вплине на універсальність застосування отриманого рішення для реальних задач. Тому для уникнення вищезазначених недоліків пропонується застосувати метод суперпозиції для зведення основної диференціальної задачі до задачі лінійного програмування.

3.2.Метод суперпозиції

Метод суперпозиції є надзвичайно потужним інструментом для вирішення складних багатofакторних задач. В основі цього методу лежить властивість лінійності, яка притаманна математичним функціям:

$$f(x_1 + x_2) = f(x_1) + f(x_2) \quad (3.9)$$

Ця властивість лінійності і є головною умовою, якій задача повинна задовольняти для того щоб цей метод можна було б використати. У випадку задачі, яка розглядається у рамках даної роботи, можна стверджувати що вона відповідає даній умові і має властивість лінійності.

Звернемося до електротехніки, за визначенням теореми о суперпозиції. Дана теорема може буди сформулювала наступним чином: «У лінійному контурі з кількома джерелами енергії напруга і струм в будь-якій гілці є алгебраїчна сума напруги і струмів, обумовлених кожним окремим джерелом, які діють незалежно один від всіх інших, замінених їх внутрішнім опором.» або «У будь-якій лінійній схемі, що містить кілька незалежних джерел, струм або напруга в будь-якій точці мережі може бути обчислена як алгебраїчна сума окремих внесків кожного джерела, що діють самостійно.».

Таким чином метод суперпозиції полягає у тому, що за умови лінійності системи, внесок, який робить система в цілому, можна розглядати, як алгебраїчну суму внесків окремих частин системи.

У випадку задачі, яка розглядається у даній роботі екологічну можна розглядати, як окремі самотійну систему, а її складовими частинами, частинами, які впливають на її стан, усі підприємства, які розглядатимуться у рамках визначених задачею. В результаті, необхідним і достатнім для вирішення поставленої задачі буде підрахувати вплив кожного окремого підприємства на екологічну зону, яка досліджується. Отримані впливи у вигляді річних доз забруднення окремого i -го підприємства на k -ту екологічну зону, для отримання результуючого впливу підприємств на k -ту екологічну зону необхідно просумувати впливи усіх підприємств на цю зону.

3.3.Рішення задачі

Беручи за основу метод суперпозиції, детально описаний у попередньому підрозділі, для обчислення інтенсивності забруднення регіону достатньо обчислити інтенсивності забруднення регіону кожним підприємством окремо. Отримані інтенсивності забруднення підприємств необхідно підсумувати для отримання результуючого впливу підприємств на промисловий регіон в цілому. Тоді для даного промислового регіону, з урахуванням зовнішнього забруднення, інтенсивність забруднення регіону G можна представити у вигляді:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) \quad (3.10)$$

де Q_i –потужність викидів i -го підприємства;

$\varphi_i(\bar{r}, t)$ – рішення рівняння (3.1) для i -го промислового підприємства, тобто:

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + V_1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + V_2 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + V_3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \sigma \varphi_i = \frac{\partial}{\partial z} \vartheta \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_i + \delta(\bar{r} - \bar{r}_1) * Q_i \quad (3.11)$$

при визначених граничних умовах на границях досліджуваних областей:

$$\begin{cases} \varphi_i = 0 \text{ на } S_L \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ на } S_0; \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = 0 \text{ на } S_H \end{cases} \quad (3.12)$$

де: f_L – ступінь початкового забруднення на бічній поверхні циліндричної моделі промислового регіону;

α – коефіцієнт, що характеризує ймовірність аерозольної субстанції, яка випала на поверхню Землі, знову потрапити в атмосферу, знов повернутись до аерозольної маси;

S_L – бічна поверхня циліндричної моделі промислового регіону;

S_0 – поверхнею основи циліндричної моделі промислового регіону;

S_H – верхня поверхня циліндричної моделі промислового регіону;

Також варто звернути увагу на перетворення, яке зроблене у рівнянні (3.10), зважаючи на те, що інтенсивності забруднення є величиною векторною тому її можна представити у вигляді добутку його модуля Q_i на його орту $\varphi_i(\vec{r}, t)$, таким чином отримано розділення на повністю статистичні данні – модуль інтенсивності забруднення, що дорівнює значенню річного забруднення підприємства Q_i і орту, яка відповідає за вплив сумарного забруднення підприємства на екологічні зони, які його оточують, в залежності від їх взаємного розташування і метеорологічно-кліматичних умов регіону.

Таким чином вираз отриманий у (3.10) можна застосувати у розрахунковому функціоналі (3.5), для спрощення подальших розрахунків, за рахунок використання методу суперпозиції для подальших обчислень. Таким чином підставивши значення інтенсивності забруднення отримане у (3.10) у розрахунковий функціонал річної дози забруднення досліджуваного регіону (3.5) отримаємо наступне співвідношення:

$$F_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\vec{r}, t) dG \quad (3.13)$$

Таким чином отримано співвідношення (3.13) в якому забруднення цілого регіону залежить від алгебраїчної суми забруднень кожного окремого підприємства, які розглядаються у контексті даної задачі. Завдяки розділенню вектору інтенсивності забруднення на скалярне значення – модуль вектору інтенсивності забруднення, що представляє значенню річного забруднення підприємства, і орту вектору інтенсивності забруднення – яка відповідає за вплив сумарного забруднення підприємства на екологічну зону, можливо виконати додаткові перетворення, для спрощення отриманого функціоналу (3.13). В першу чергу Q_i є скалярною величиною, тому його можна винести за знаки інтегралів. Таким чином отримаємо наступне співвідношення:

$$F_k = \sum_{i=1}^n Q_i \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_i(\bar{r}, t) dG \quad (3.14)$$

Даний вираз також можна спростити ввівши заміну. Можна ввести нову змінну, яка буде представляти парціальний коефіцієнт a_{ik} впливу річного забруднення i -го підприємства на k -у екологічну зону:

$$F_k = \sum_{i=1}^n Q_i a_{ik} \quad (3.15)$$

де a_{ik} – представляє парціальний коефіцієнт впливу річного забруднення i -го підприємства на k -у екологічну зону, який відповідно визначається наступним чином:

$$a_{ik} = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_i(\bar{r}, t) dG, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m} \quad (3.16)$$

Розглянемо складові отриманого парціального коефіцієнту впливу детальніше. P_k постійний коефіцієнт приналежності підприємства екологічній зоні, яка розглядається. З урахуванням статичності місце розташування підприємств цей коефіцієнт вважатимемо константою. Другий множник $\varphi_i(\bar{r}, t)$

представляє собою орту вектору інтенсивності забруднення і є рішенням наступного рівняння:

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + V_1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + V_2 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + V_3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \sigma \varphi_i = \frac{\partial}{\partial z} \vartheta \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_i + \delta(\bar{r} - \bar{r}_i) \quad (3.17)$$

Проаналізуємо окремі складові представленої рівняння (3.17). Вектори швидкостей можна вважати константними значеннями на періоді часу на якому виконується вирішення поставленої задачі – річний період. Це є правомірним завдяки відносній стабільності повітряних потоків і кліматичний умов протягом річного періоду, який обрано в задачі за основу періодичності. σ – коефіцієнт поглинання (обернено пропорційний часу), за умов стабільності кліматичних умов, також можна вважати константним. ϑ – коефіцієнт вертикального турбулентного обміну і μ – коефіцієнт горизонтального турбулентного обміну за умов стабільності кліматичних умов, також можна вважати константним. $\bar{r}_i(x_i, y_i, z_i)$ – місце розташування і-го промислового підприємства, яке за визначенням є постійним, в контексті задачі, яка розглядається. Таким чином $\varphi_i(\bar{r}, t)$ – орта вектору інтенсивності забруднення також можна вважати досить постійним значенням, і в контексті даної роботи вважатимемо його константним. В результаті аналізу компонентів виразу (3.16) можна зробити висновок що до константності значення a_{ik} – парціального коефіцієнту впливу річного забруднення і-го підприємства на к-у екологічну зону. Тому у контексті даної роботи вважатимемо коефіцієнти впливу річного забруднення a_{ik} відомими константами.

Таким чином формалізовано основні умови поставленої завдання. Формалізовано екологічну умову задачі (3.7), яка полягає у тому, щоб визначити таку максимальну допустиму кількість аерозольних викидів підприємства, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм. Формалізовано економічну умову поставленої задачі, задоволення інших умов задачі при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств. Виконано перетворення над екологічною умовою (3.15) і (3.16), для спрощення

підрахунків і формування універсального математичного апарату. В результаті виконаних перетворень вдалось також відокремити змінну і постійну частини вектору інтенсивності забруднення для кожного підприємства, що також значно спростить наступні підрахунки.

Об'єднавши вищезазначені умови (3.7), (3.8), (3.15), (3.16) можна отримати наступну постановку задачі:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i(Q_{ui} - Q_{pi}) \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n Q_{pi} a_{ik} \leq C_k, \quad k = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Нагадаємо завдання, яке поставлено на початку 2 розділу даної роботи: «Завдання полягає у визначенні для кожного підприємства такої максимально допустимої кількості аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.» Вирішення першої частини завдання забезпечується другою нерівністю у (3.18). Дана нерівність відсікає площину рішень, які не задовольняють екологічній умові. Задоволення умови мінімізації економічних витрат забезпечується першою оціночною функцією оптимальності, за допомогою якої буде обрано оптимальне рішення серед множини рішень, отриманих другою нерівністю у (3.18).

Зазначена вище максимально допустима кількість аерозолів, яку необхідно знайти, позначається, як Q_{pi} , тобто плановий об'єм викидів i -го підприємства. Наявність виразу різниці в умові оптимальності може бути не завжди зручним для подальших розрахунків, тому варто ввести заміну для Q_{pi} для зменшення структурної складності отриманої умови. Введемо наступну заміну:

$$\begin{aligned} q_i &= Q_{ui} - Q_{pi} \\ Q_{pi} &= Q_{ui} - q_i \end{aligned} \quad (3.19)$$

де: Q_{ui} – вихідна потужність викидів i -го підприємства;

Q_{pi} – планована потужність викидів i -го підприємства, яка задовольняє усім представленим вимогам;

В результаті введення вищезазначеної заміни можна виконати перехід до задачі лінійного програмування з відшукуванням оптимального набору значень величин q_i , які представляють собою величину на, яку необхідно зменшити вхідну потужність викидів, для задоволення екологічних вимог поставленої задачі. Введення нової змінної передбачає введення додаткових обмежень. На сам перед важливо, щоб кількість викидів, в результаті вирішення задачі, не була збільшена. Тому всі значення із знайденого оптимального набору q_i по винні бути більше або рівні нулю:

$$q_i \geq 0, i = \overline{1, n} \quad (3.20)$$

Наступна група обмежень повинна обмежити значення на, які необхідно зменшити вхідну потужність викидів, величиною вхідних викидів, адже зменшити на величину, яка була б більша вхідні викиди неможливо. Таким чином всі значення із знайденого оптимального набору q_i по винні бути менше або рівні початковій потужності викидів відповідного підприємства. В результаті отримано наступну групу обмежень:

$$q_i \leq Q_{ui}, i = \overline{1, n} \quad (3.21)$$

Важливо зазначити, що система обмежень (3.20) і (3.21) є необхідним мінімумом, для вирішення поставленої задачі у загальному вигляді, але можуть бути не достатніми для розв'язання конкретної задачі для визначеного промислового регіону. Ця система обмежень є закритою для зміни і є відкритою для розширення, за рахунок обмежень специфічних для певного промислового регіону. Таким чином забезпечується універсальність представленого рішення і його адаптивність під специфіку регіону, для якого і виконується вирішення поставленої задачі.

В результаті введення заміни (3.19) у сукупність умов (3.18) отримано наступна система умов:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n (Q_{ui} - q_i) a_{ik} &\leq C_k, \quad k = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (3.22)$$

В результаті тривіальних перетворень над другої нерівності (3.22) отримано наступну нерівність:

$$\sum_{i=1}^n a_{ik} q_i \geq R_k, \quad k = \overline{1, m} \quad (3.23)$$

де R_k – коефіцієнт мінімального зменшення викидів, для k -тої екологічної зони. Даний коефіцієнт обчислюється наступним чином:

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} Q_{ui} - C_k \quad (3.24)$$

Таким чином, об'єднавши всі умови і обмеження (3.22), (3.23), (3.20), (3.21) переходимо до задачі лінійного програмування з відшукування оптимального набору q_i на основі рішення задачі:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, \quad k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, \quad i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq Q_{ui}, \quad i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Важливо зазначити, що кількість обмежень може бути збільшена за рахунок специфічних вимог соціального та економічного характеру, що впливають з тих чи інших пріоритетних міркувань [5,6]. Таким чином обмеження представлені у виразі (3.25) є лише мінімальною основою для отримання адекватних рішень поставленого завдання. Кількість обмежень повинна бути збільшеною виходячи із конкретних умов поставленої задачі.

Варто наголосити, що мета вирішення поточної задачі є визначення об'ємів аерозольних викидів для кожного підприємства на які необхідно підприємствам скоротити викиди. Таким чином ми вирішуємо задачу зменшення викидів, для того, щоб виконати санітарно-екологічні норми промислового регіону.

Надзвичайно корисним може бути вирішення оберненої задачі. Обернена задача може полягати у оптимальному розподіленні коштів між підприємствами на екологічну модернізацію з метою досягнення найбільшого зменшення шкідливих аерозольних викидів. Рішення даної задачі може бути цікавим, як для цілих країн для розподілення бюджетних коштів на модернізацію виробництва так и для власників концернів і агломерацій для знаходження найбільш ефективної конфігурації розподілення коштів з метою екологічної модернізації поточного виробництва. Але дана задача виходить за рамки поставленої задачі, тому у рамках даної роботи розглядатися не буде.

Рішення (3.25) представляє рішення поставленої задачі у випадку, якщо промисловий регіон, що розглядаються, не граничить з іншими промисловими регіонами, району що розглядається і викиди підприємств із одного району не потрапляють в інший. Тобто (3.25) є правомірним рішенням поставленої задачі але воно не є універсальним для всіх можливих взаємних розташувань промислових регіонів у рамках району. Саме тому у рамках даної роботи варто розглянути цю задачу із більш широким охоптом ніж вихідна. Додавши умову наявності спільної границі із іншими промисловими регіонами.

Для аналізу зазначеної вище задачі, розширимо вихідну постановку задачі надану на початку 2 розділу.

Нехай заданий регіоні G з кордоном L і розташованими на його території n промислових підприємств A_i ($i = \overline{1, n}$) з координатами $\bar{r}_i(x_i, y_i, z_i)$, що викидають щомиті Q_i аерозолів, граничить із подібними промисловими регіонами \bar{G} . Для кожного підприємства у регіоні G задано коефіцієнт k_i ($i = \overline{1, n}$). k_i – це коефіцієнт, що визначає капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів). Будемо вважати також, що регіон G являє собою

циліндричну область з бічною поверхнею S_L , поверхнею основи $S_0 (z = 0)$ і верхньою поверхнею $S_H (z = H)$. У цьому регіоні G виділимо m екологічних зон $G_k (k = \overline{1, m})$ із заданою гранично допустимою концентрацією випавших аерозолів за час $[0, T]$, де T – річна періодичність. Гранична допустима концентрація аерозолів задається санітарними норми для кожної з екологічних зони і позначається як $C_k (k = \overline{1, m})$.

Завдання полягає у визначенні для кожного підприємства такої максимально допустимої кількості аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів з урахуванням інтенсивності викидів зовнішніми промисловими регіонами по відношенню до регіону, який розглядається у даній задачі.

Таким чином, якщо до промислового регіону G , який розглядається у даній задачі, примикають інші промислові регіони \hat{G} , з яких шкідливі викиди потрапляють в даний регіон, до рівняння (3.17) необхідно додати наступне рівняння:

$$\frac{\partial \varphi_L}{\partial t} + V_x \frac{\partial \varphi_L}{\partial x} + V_y \frac{\partial \varphi_L}{\partial y} + V_z \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \sigma \varphi_L = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_L + \delta(\bar{r} - \bar{r}_1) \quad (3.26)$$

де φ_L це інтенсивність забруднення регіонів \hat{G} на бічну поверхню S_L досліджуваного регіону, інакше кажучи, інтенсивність забруднення, яке потрапляє до регіону, який розглядається у контексті даної задачі. Рівняння (3.26) відповідає дійсності за наступних граничних умов:

$$\begin{cases} \varphi_L = f \text{ на } S_L \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ на } S_0; \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} = 0 \text{ на } S_H \end{cases} \quad (3.27)$$

Тоді для даного промислового регіону, з урахуванням зовнішнього забруднення яке надходить від регіонів \bar{G} , інтенсивність забруднення регіону G можна переписати у вигляді:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) + b_k \quad (3.28)$$

де b_k – коефіцієнт впливу інтенсивності забруднення зовнішніх промислових регіонів, на k -ту екологічну зону промислового регіону, який розглядається у даній задачі. Для обчислення даного коефіцієнту слід застосовувати наступний вираз:

$$b_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_L(\bar{r}, t) dG. \quad (3.29)$$

Таким чином задача лінійного програмування (3.25) буде перетворена до наступного виду, для того щоб задовільнити умови нової постановки завдання:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq Q_{ui}, i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (3.30)$$

де R_k – коефіцієнт мінімального зменшення викидів, для k -тої екологічної зони. Даний коефіцієнт обчислюється наступним чином:

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} Q_{ui} + b_k - C_k \quad (3.31)$$

Зважаючи на те, що задача лінійного програмування (3.25) і (3.30) є аналогічними, єдина відмінність полягає у способі підрахунку коефіцієнту R_k , який у останньому варіанті (3.31) враховує вплив інтенсивності забруднення зовнішніх регіонів на регіон, який розглядається в контексті даної роботи.

Таким чином, представлена вище задача лінійного програмування, по оптимізації шкідливих викидів підприємств у екологічних зонах даного промислового регіону може бути вирішена відомими чисельними методами [8].

Оскільки розглянуті завдання лінійні і періодичні в часі, то їх рішення здійснюється з деяких початкових даних до настання періодичності. Звичайно потрібно кілька річних циклу розрахунку для отримання результатів із необхідною точністю. Але за рахунок того, що для рішення задачі використовуються статистичні метеорологічні дані, формування ретроспективної бази підрахунків, не вимагатиме багаторічного спостереження. Крім того, оскільки сформульована задача зведена до завдань лінійного програмування при $q_i \geq 0$ і всіх позитивних коефіцієнтах $a_{ik} \geq 0$, $b_k \geq 0$ рішення задачі знаходиться на гранях багатогранників, що утворюються при побудові області обмежень за допомогою стандартних методів лінійного програмування.

3.4. Висновки за розділом

В рамках третього розділу даної роботи сформовано математичний апарат, який описує предметну область поставленої задачі, виконано формалізацію задачі у контексті диференційного числення. Але через неможливість виведення загального рішення в аналітичному виді для сформульованої задачі, запропоновано використання принципу суперпозиції для спрощення вихідної задачі шляхом зведенням її до задачі лінійного програмування. Виконано аналіз сформованої задачі і можливість використання метода суперпозиції для її спрощення. Виконано декомпозицію сформованої задачі за правилом суперпозиції на алгебраїчну суму частинних рішень. За рахунок цього вдалось значно спростити математичний апарат необхідний для виконання розрахунків за поставленою задачею. В результаті виконання структурних перетворень задачу зведено до задачі лінійного програмування, Рішення якої може бути знайдено за допомогою відомих чисельних методів.

РОЗДІЛ 4. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Постановка задачі апробації

У попередньому розділі запропоновано рішення задачі оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону. В результаті отримано наступну постановку задачі лінійного програмування:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq Q_{ui}, i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4.1)$$

де R_k – коефіцієнт мінімального зменшення викидів, для k -тої екологічної зони. Даний коефіцієнт обчислюється наступним чином:

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} Q_{ui} + b_k - C_k \quad (4.2)$$

Представлена вище задача (4.1) може бути вирішена відомими чисельними методами [8].

Для підтвердження відповідності знайденого у попередньому розділі рішення задачі оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону, яке представлено задачею лінійного програмування (4.1), виконаємо апробацію даного результату на реальних даних промислового регіону. Виконаємо постановку задачі апробації отриманих результатів.

Визначити для кожного підприємства максимально допустиму кількість аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.

У якості промислового регіону для апробації обрано Запорізький промисловий регіон.

4.2.Опис Запорізького промислового регіону

У контексті даної роботи буде розглянуто лише частина цього регіону, яка розташована на території міста Запоріжжя. Дане обмеження було введено через те, що саме на території міста Запоріжжя розташовано підприємства, які є одними із найбільших джерел забруднення у Запорізькому промисловому регіоні.

Важливо зазначити величезний промислово-економічний потенціал міста Запоріжжя і Запорізького регіону взагалі. На території Запорізької області розташовано понад 350 промислових підприємств 280 і яких розташовано на території міста Запоріжжя. Основна частина вищезазначених підприємств належить до металургійної, машинобудівної, харчової і хімічної промисловості.

Металургійний комплекс представлений підприємствами чорної та кольорової металургії, зокрема акціонерними товариствами «Запоріжсталь», «Дніпроспецсталь», «Запорізький завод феросплавів», «Запоріжжкокс», «Запоріжвогнетрив», «Запорізький сталепрокатний завод», «Запоріжнерудпром», «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат »,« Укрграфіт »,« Запорізький титано-магнієвий комбінат »,« Запорізький завод кольорових металів, Запорізький ливарно-механічний завод ».

Машинобудування міста відомо на світовому ринку великими підприємствами, серед яких: «Завод підйомнотранспортних машин» (ТОВ "ЗПТМ), « Запорізький автомобілебудівний завод », «Запоріжтрансформатор», завод «Перетворювач», «Запорізький абразивний комбінат», електровозоремонтний завод, «Запорізький суднобудівно-судоремонтний завод», «Запорізький завод важкого кранобудування»,«Запорізький механічний завод», розробник авіадвигунів ЗМКБ «Прогрес», центр авіаційного двигунобудування «Мотор Січ», розробник і створ ательє радіолокаційних станцій КП НВК «Іскра», ДП «Радіоприлад».

Харчова промисловість забезпечує населення міста продуктами харчування та напоями. Найбільшими з них є хлібозаводи (ПАТ «Запорізький хлібозавод No 3» та ПАТ «Запорізький хлібозавод No 5»), ВАТ «Запорізький

хлібокомбінат No 1», оліяжиркомбінат, м'ясокомбінат, ПБК «Славутич», завод безалкогольних напоїв.

За останні роки значно зменшився об'єм викидів шкідливих речовин підприємствами Запорізького промислового регіону, але не зважаючи на це, кількість шкідливих викидів підприємств все ще значно перевищує допустимі норми забруднення. За попередній 2018 рік на території міста Запоріжжя зареєстровано 217 підприємств, які мали шкідливі аерозольні викиди. Загалом об'єм викидів склав 71 тис. тон шкідливих викидів у повітря регіону, що складає 100% викидів зареєстрованих на території міста Запоріжжя. Майже 95% всього об'єму викидів складають викиди 8 підприємств гігантів Запорізького регіону, 5% викидів припадає на інші 209 підприємств міста Запоріжжя. Статистичні данні щодо викидів, вищезазначеної великої вісімки підприємств наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Коротка кількісна характеристика основних збудників повітря Запорізького регіону

Підприємство	Об'єм викидів	Відсоток від загального об'єму викидів
ПАТ «Дніпроспецсталь»	721 т.	1%
ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	8587 т.	12,2%
ПАТ «Запоріжжюкс»	1983 т.	2,8%
ВАТ «Запоріжсталь»	50 718 т.	72,3%
ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1766 т.	2,5%
ТОВ «ЗТМК»	971 т.	1,4%
ПАТ «Мотор Січ»	860 т.	1,2%
ПАТ «Укрграфіт»	1081 т.	1.5%

Таким чином можна зменшити кількість підприємств, які необхідно розглядати в рамках даної роботи до восьми основних забруднювачів повітря.

4.3. Розробка алгоритму апробації результатів

Після виконання постановки задачі апробації необхідно сформулювати алгоритм, за яким буде виконуватися апробація отриманого у розділі 2 математичного апарату, для розрахунків оптимальних об'ємів викидів підприємств промислового регіону.

Першим кроком після визначення промислового регіону, який задається у постанові задачі, є дослідження промислового регіону і виділення основних забруднювачів повітря у промисловому регіоні. За рахунок виділення основних підприємств на території регіону, досягається зменшення складності задачі визначення оптимального рішення, але й зменшується точність оцінки оптимізації, через відсікання із розгляду підприємств, об'єми викидів яких є незначними для вищезазначеного регіону. Особливо це актуально у контексті відсутності програмного забезпечення для автоматизації обчислень. Але і з наявністю програмного забезпечення, інформацію про зазначені підприємства необхідно буде вносити у програмне забезпечення, що також вимагає певного часу. У даному випадку необхідно визначити необхідно-достатній набір підприємств регіону, викиди яких представляють необхідну долю у загальних викидах підприємств промислового регіону.

Наступним етапом є формування карти регіону із нанесеними на неї підприємствами промислового регіону, що були визначені на попередньому кроці алгоритму.

В результаті попереднього кроку отримаємо карту досліджуваного регіону із фізичним розташуванням підприємств на ній. Після цього на цій карті виділяються екологічні зони, даного промислового регіону. Зазвичай розташування і конфігурація вищезазначених зон є заздалегідь відомою і є історично сформованою.

На наступному етапі необхідно визначити гранично-допустимі норми викидів для кожної із виділених екологічних зон. Ці норми є загальнодоступними і визначаються на рівні регіону або на державному рівні.

Після цього виконується збір статистичних даних, щодо кліматично-метеорологічних умов на території підприємств, екологічних зон і регіону у

цілому. Чим за більший період будуть взято данні, тим на більші точність розрахунків можна очікувати в результаті обчислень. На основі цих статистичних даних можна підрахувати коефіцієнти a_{ik} – парціальний коефіцієнт впливу річного забруднення i -го підприємства на k -у екологічну зону і коефіцієнти b_k – коефіцієнт впливу інтенсивності забруднення зовнішніх промислових регіонів, на k -ту екологічну зону промислового регіону, який розглядається у даній задачі. За рахунок стабільності кліматично-метеорологічних умов дані розрахунки можна провести один раз і після цього використовувати ці значення, як відомі константи. Крім того за наявності достатньої кількості статистичних даних попередніх років можна їх екстраполювати для отримання їх значень вищезазначених коефіцієнтів a_{ik} , b_k для наступних періодів. Але зважаючи на стабільність кліматично-метеорологічних умов ці обчислення можуть бути надлишковими.

Наступним кроком буде аналіз обраного промислового регіону і підприємств, які розглядаються у рамках визначеної задачі. Ціллю даного аналізу буде формування додаткових обмежень пов'язаних із специфікою регіону і специфікою організації підприємств цього промислового регіону. До цих обмежень можуть бути віднесенні певні обмеження пов'язані із специфікою галузей виробництва, специфікою певних підприємств. Також обмеження можуть бути додані в результаті дослідження наявних на даний момент очисних споруд на ринку і інших можливих технік і технологій модернізації підприємства і оптимізації процесів і технологій, які застосовуються у самому виробництві. Таким чином, в результаті виконання даного дослідження повинно бути сформовано систему специфічних обмежень для даного промислового регіону взагалі і обмеження для кожного окремого підприємства, яке розглядається у даній задачі.

За наявності обчислених коефіцієнтів a_{ik} , b_k , базової системи обмежень, що забезпечують адекватність знайдених рішень з математичної точки зору і сформованої системи специфічних обмежень для даного промислового регіону і обмежень для окремих підприємства промислового регіону, що забезпечують адекватність знайдених рішень з точки зору можливостей і особливостей даного

промислового регіону, можна формалізувати задачу лінійного програмування (4.1) з урахуванням специфіки, промислового регіону, якій розглядається у поставленій задачі. В результаті цього кроку отримуємо готову задачу лінійного програмування адаптовано до потреб визначеного регіону, рішення якої лежать у допустимих для досліджуємо регіону межах, визначених системою специфічних обмежень для даного промислового регіону і обмежень для окремих підприємства промислового регіону.

Після отримання формалізованої задачі лінійного програмування для даного промислового регіону для знаходження максимально допустимої кількості аерозолів для кожного підприємства, необхідно вирішити цю сформовану задачу. Оскільки сформульована задача зведена до завдань лінійного програмування при $q_i \geq 0$ і всіх позитивних коефіцієнтах $a_{ik} \geq 0$, $b_k \geq 0$ рішення задачі знаходиться на гранях багатогранників, що утворюються при побудові області обмежень за допомогою стандартних методів лінійного програмування.

У випадку, якщо рішення формованої задачі відсутнє необхідно виконати перегляд встановлених додаткових обмежень, пріоритезувати додаткові обмеження і зробити їх менш строгими чи відмовившись від частини із них, таким чином збільшивши об'єм допустимих рішень і виконати розрахунки повторно, у випадку, якщо рішення задачі знову не буде знайдено повернутися до перегляду додаткової системи обмежень.

У разі, якщо рішення задачі знайдено необхідно виконати його аналіз відповідно до специфічних потреб регіону, визначити чи відповідає отримане рішення потребам регіону. У разі, якщо рішення не відповідає потребам регіону, варто повернутися до перегляду сформованих додаткових, специфічних для регіону обмежень і виконати корегування існуючих обмежень, і у разі необхідності додати до системи обмежень нові. І виконати розрахунки, ще раз. Після цього виконати всі слідує за обчисленням кроки, ще раз.

У випадку, якщо знайдене рішення задовольняє потреби регіону, отримані для кожного підприємства значення максимально допустимої кількості аерозолів, можна вважати рішенням поставленої оптимізації.

Оформимо наведений вище алгоритм у вигляді блок-схеми рисунок 4.1.

Таким чином, представлену на рисунок 4.1 блок-схему, можна використовувати для розробки програмного забезпечення, метою якого є автоматизація задачі визначення оптимального з економічної точки зору максимального об'єму викидів для кожного підприємства промислового регіону, щоб сума цих викидів не перевищувала гранично допустимих екологічних норм даного регіону. Завдання по розробці вищезазначеного програмного забезпечення не є метою даної роботи і не входить до її об'єму.

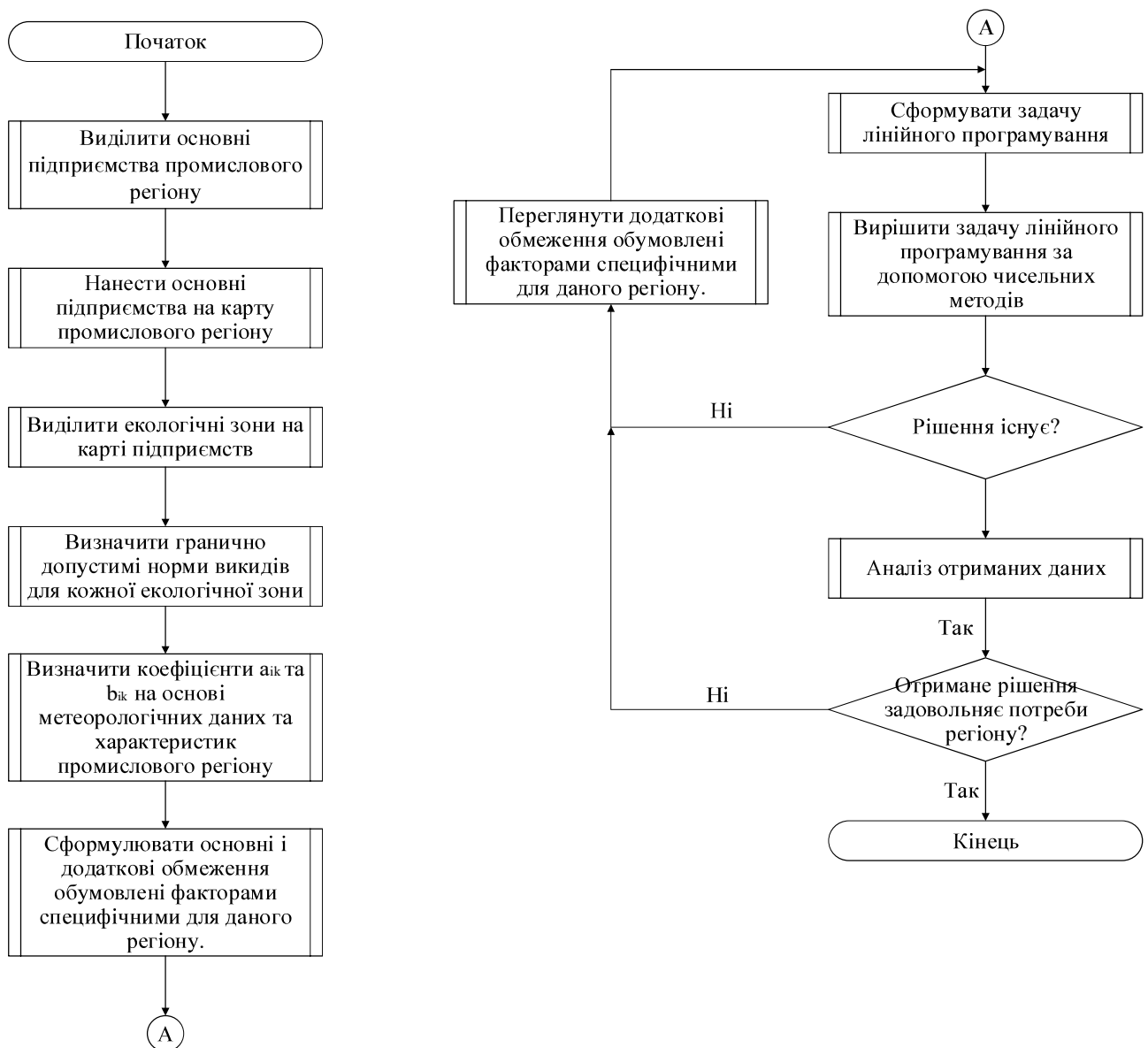


Рисунок 4.1. Блок-схема методології визначення оптимального з економічної точки зору максимального об'єму викидів для кожного підприємства промислового регіону, щоб сума цих викидів не перевищувала гранично допустимих екологічних норм даного регіону.

4.4. Апробація результатів на прикладі Запорізького промислового регіону

Виконаємо апробацію отриманого математичного апарату на задачі визначення максимально допустимих кількостей аерозолів, що викидаються підприємствами Запорізького регіону, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів. Для цього згідно із алгоритмом вирішення представленої задачі представленим на рисунку 3.1 в першу чергу необхідно виконати аналіз промислового регіону з метою визначення загального об'єму річних шкідливих аерозольних викидів регіону і підприємств, які беруть участь у формуванні цього забруднення. В результаті отримаємо вичерпний перелік підприємств із кількісною характеристикою їх шкідливих аерозольних викидів і процентом, який складають викиди цього підприємства у загальній масі викидів усіх підприємств регіону. Для Запорізького регіону, який в контексті даної апробації представлений лише містом Запоріжжя, у цьому списку представлено 217 підприємств. За даними державно статистики За попередній 2018 рік на території міста Запоріжжя зареєстровано 217 підприємств, які мали шкідливі аерозольні викиди. Загалом об'єм викидів склав 71 тис. тон шкідливих викидів у повітря регіону, що складає 100% викидів зареєстрованих на території міста Запоріжжя. Вирішення поставленої задачі для 217 підприємств без наявного програмного забезпечення, що здатне автоматизувати дану задачу представлятиме достатньо складну задачу. Виходячи із умови достатності, прийнято рішення встановити 1% бар'єр для входження підприємства у список підприємств викиди, яких будуть враховуватись у вирішенні даної задачі. Крім того додатково встановлено умову, щоб сума викиді обраних для оптимізації підприємств складала не менше 90% від загального обсягу викидів підприємств регіону. Виконавши відсіювання за встановленими вище критеріями отримано список із восьми підприємств відсоток викидів у загальному обсязі викидів по регіону складає один і більше відсоток. Сумарний обсяг аерозольних викидів складає майже дев'яносто п'ять

відсотків від загального обсягу викидів у Запорізькому регіоні, Таким чином усі вищезазначені умови є виконаними і обрані вісім підприємств Запорізького регіону разом із відповідними річними об'ємами аерозольних викидів і відсотком у загальному об'ємі викидів Запорізького району представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 — Кількісна характеристика основних збудників повітря Запорізького регіону, відсортована у порядку зменшення долі викидів у загальному об'ємі.

Підприємство	Об'єм викидів т. $Q_{\text{ви}}$	Відсоток від загального об'єму викидів
ВАТ «Запоріжсталь»	50 718	72.30%
ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	8587	12.20%
ПАТ «Запоріжжюкс»	1983	2.80%
ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1766	2.50%
ПАТ «Укрграфіт»	1081	1.50%
ТОВ «ЗТМК»	971	1.40%
ПАТ «Мотор Січ»	860	1.20%
ПАТ «Дніпроспецсталь»	721	1.00%
Загалом	15969	94.90%

Варто зазначити, що критерії відбору підприємств для участі у оптимізації їх викидів можуть бути різними і залежать в першу чергу від мети і задачі, які поставлені перед дослідником, а також від особливостей регіону. У випадку великої кількості підприємств розташованих у промисловому регіоні, його варто розділити на декілька промислових регіонів, які граничать один з одним. Але у такому випадку важливим чинником буде визначення коефіцієнту впливу інтенсивності забруднення зовнішніх промислових регіонів, на к-ту

екологічну зону поточного промислового регіону – b_k . Для врахування впливу підприємств сусідніх регіонів на даний регіон.

Наступним кроком апробації є формування карти розташування підприємств Запорізького регіону, які обрано для оптимізації їх викидів рисунок 4.2. Це є важливим кроком перед нанесенням на карту екологічних зон промислового регіону.

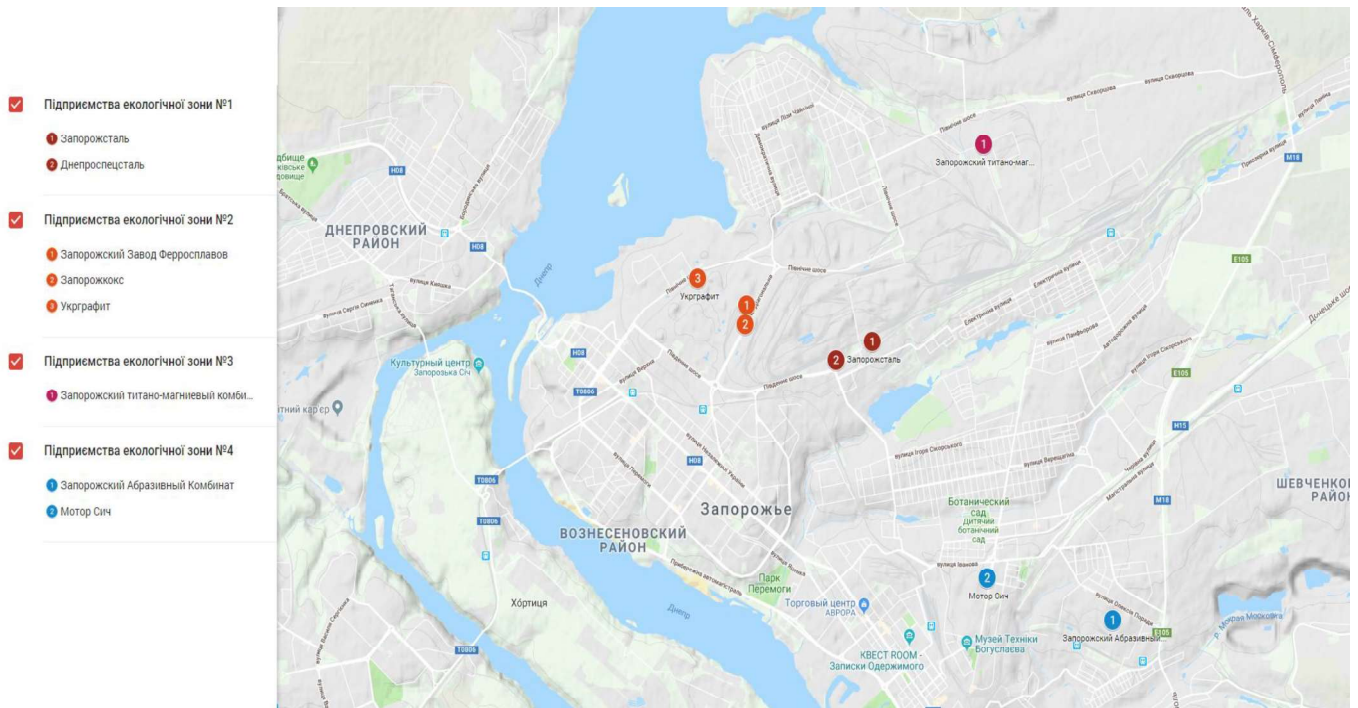


Рисунок 4.2. Карти розташування підприємств Запорізького регіону, викиди яких складають більше або рівно один відсоток від загального об'єму викидів Запорізького регіону.

В результаті виконання попереднього етапу отримано карту основних забруднювачів Запорізького регіону рисунок 4.2, наступним кроком є крок нанесення екологічних зон на карту підприємств Запорізького регіону (рисунок 4.3).

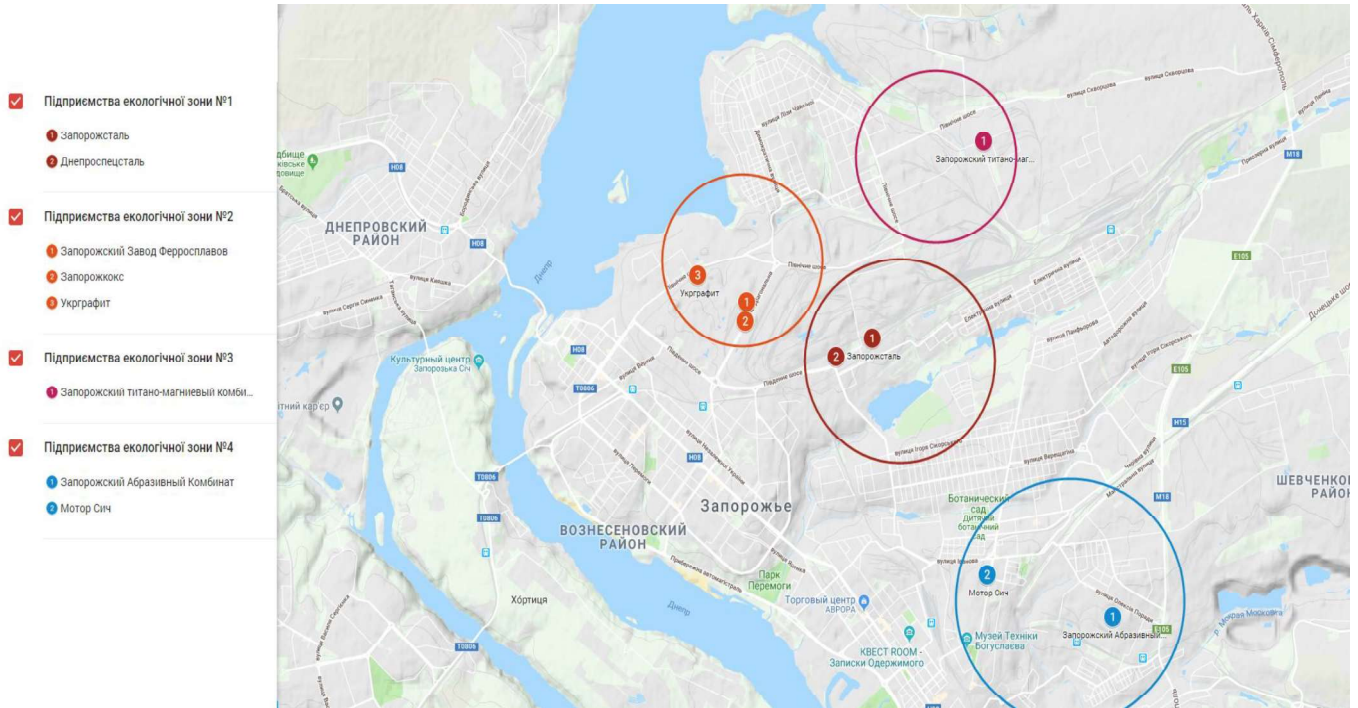


Рисунок 4.3. Карти розташування екологічних зон Запорізького регіону.

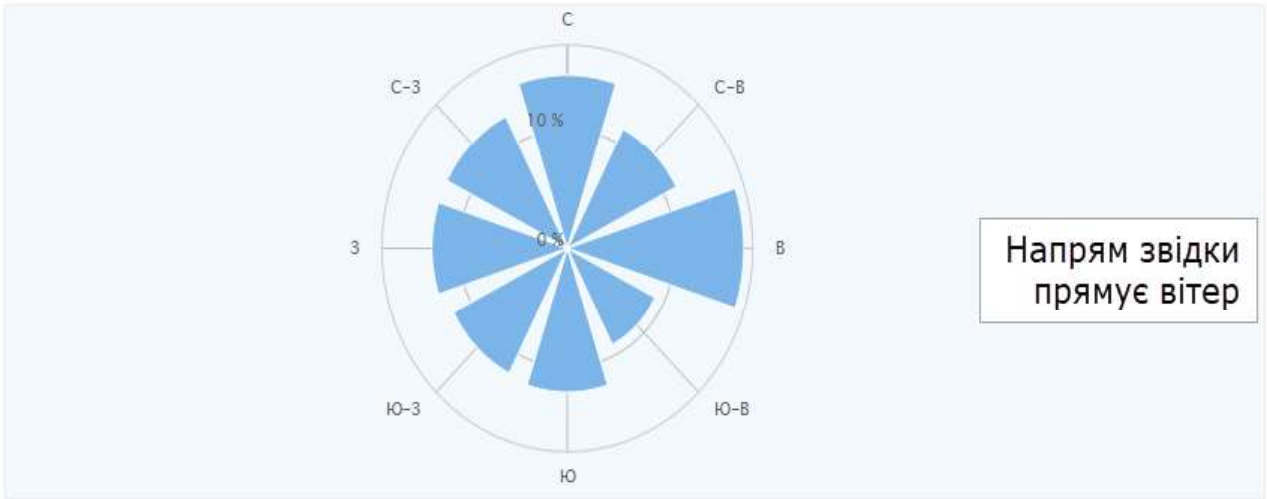
Після виділення екологічних зон необхідно визначити гранично допустимі норми викидів для кожної екологічної зони. Дані норми стануть основою для формування базових обмежень для задачі лінійного програмування.

В результаті дослідження отримано наступні значення для гранично допустимі норми викидів для кожної екологічної зони Запорізького промислового регіону. Значення гранично допустимих норми викидів представлено у таблиці 4.3.

Наступний крок це визначення орти вектору інтенсивності забруднення на основі метеорологічних даних. Для цього необхідно встановити, необхідні статистичні метеорологічні дані, на основі статистичних даних по регіону. Роза вітрів для Запорізького регіону представлена на рисунок 4.4. Коефіцієнти турбулентного обміну залежать більшою мірою від характеристик кліматичної зони и для степової зони, до якої можна віднести Запорізький регіон, вони складають в середньому за рік $0,25 \text{ м}^2/\text{с}$. Середня швидкість вітру складає $3,6 \text{ м/с}$. На основі цих статистичних даних можна підрахувати необхідні для виконання оптимізації підрахунки коефіцієнтів впливу річного забруднення на певну екологічну зону. Отримані коефіцієнти представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 — Значення гранично допустимих норми викидів для кожної екологічної зони Запорізького промислового регіону.

Порядковий номер підприємства	Екологічна зона #	Назва підприємства	Гранично допустимі норми викидів C_k
1	1	ВАТ «Запоріжсталь»	20000
2		ПАТ «Дніпроспецсталь»	
3	2	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	7500
4		ПАТ «Запоріжжкокс»	
5		ПАТ «Укрграфіт»	
6	3	ТОВ «ЗТМК»	1250
7	4	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1250
8		ПАТ «Мотор Січ»	



С ▼ Северный	С-В ▲ Северо-Восточный	В ◀ Восточный	Ю-В ▶ Юго-Восточный	Ю ▲ Южный	Ю-З ◀ Южный-Западный	З ▶ Западный	С-З ▲ Северо-Западный
14.6%	11.3%	16.3%	9.1%	12.1%	11.8%	12.5%	12.5%

Рисунок 4.4. Роза вітрів Запорізького регіону.

Таблиця 4.4 — Значення парціальних коефіцієнтів впливу річного забруднення i -го підприємства на k -у екологічну зону.

a_{ik}				
Номер екологічної зони k Номер підприємства i	1	2	3	4
1	0.74	0	0	0
2	0.77	0	0	0
3	0	0.73	0	0
4	0	0.68	0	0
5	0	0.81	0	0
6	0	0	0.66	0
7	0	0	0	0.64
8	0	0	0	0.79

Знаходити коефіцієнти впливу інтенсивності забруднення зовнішніх промислових регіонів, на k -ту екологічну зону промислового регіону немає необхідності адже в умові задачі встановлено, що приграничних промислових регіонів до Запорізького промислового регіону немає, саме тому їх вплив дорівнює нулю.

Після знаходження орт векторів інтенсивності забруднення необхідно визначити специфічні для даного регіону і обраних підприємств обмеження і умови, які необхідно взяти до уваги під час вирішення поставленої задачі. Зазвичай ці додаткові умови пов'язані із економічною складовою діяльності підприємств промислового регіону.

В даному випадку перш за все слід врахувати коефіцієнти, що визначають капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів). Контексті даної роботи під технологією мається на увазі модернізація

виробництва з метою зменшення шкідливих викидів підприємства, реорганізація підприємства, модернізація і оптимізація процесів виробництва і встановлення очисного обладнання для досягнення поставленої мети. Вибір технологіє зменшення викидів підприємствами не є завданням, яке розглядається в даній роботі і вирішення його повністю віддається керівникам підприємств.

Для апробація математичного апарату взято наступні коефіцієнти капіталовкладення у технологію, які представлені у таблиці 4.5.

Наступним кроком є формування додаткових обмежень пов'язаних із специфікою регіону і специфікою організації підприємств цього промислового регіону. Вважатимемо для прикладу, що максимально можливе зменшення викидів підприємствами складає лише 60% від їх вихідного значення, для заданих коефіцієнтів капіталовкладення. Таким чином сформована додаткова система обмежень для заданого промислового регіону представлена у таблиці 4.6.

Таблиця 4.5 — Значення коефіцієнтів, що визначають капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів).

Номер підприємства i	k_i
1	2.74
2	1.678
3	1.25
4	1.15
5	1.67
6	2.91
7	1.32
8	1.57

Таблиця 4.6 — Значення коефіцієнтів, що визначають капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів).

Номер підприємства i	$q_i \max$
1	30430.8
2	432.6
3	5152.2
4	1189.8
5	648.6
6	582.6
7	1059.6
8	516

В загальному випадку формування представленої системи обмежень може вимагати значного часу, який необхідний для аналізу економічної ситуації цілого регіону і аналізу поточних умов підприємств заданого промислового регіону. Тому для апробації математичного апарату достатньо сформулювати приблизні додаткові обмеження, які лише перевіряють можливість задання вищезазначених додаткових обмежень. Введені додаткові обмеження представлені наступним виразом:

$$q_i \leq q_i \max, i = \overline{1, n} \quad (4.2)$$

де $q_i \max$ – максимально можливий об'єм зменшення викидів відповідно до особливостей організації і функціонування підприємств регіону.

Якщо взяти до уваги базову систему обмежень, яка гарантує адекватність знайдених рішень задачі оптимізації:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq Q_{ui}, i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Можна відзначити, що сформована система додаткових обмежень є більш строгою за базову систему обмежень:

$$q_i \max < Q_{ui} \quad (4.4)$$

В такому випадку можна замінити базове обмеження більш строгим специфічним обмеженням, таким чином отримано остаточну систему обмежень для представленої задачі оптимізації:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq q_i \max, i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4.5)$$

В результаті виконання усіх попередніх кроків, обчислено і визначено необхідні дані для формалізації задачі лінійного програмування, для вирішення поставленої задачі апробації.

Задача лінійного програмування по знаходженню оптимального з економічної точки зору набору коефіцієнтів q_i представлена рівнянням 3.6:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\geq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n} \\ q_i &\leq q_i \max, i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Виходячи з того, що сформульована задача зведена до завдань лінійного програмування при $q_i \geq 0$ і всіх позитивних коефіцієнтах $a_{ik} \geq 0$ рішення задачі знаходиться на гранях багатогранників, що утворюються при побудові області обмежень за допомогою стандартних методів лінійного програмування.

Для вирішення сформульованої задачі обрано двоїстий симплекс метод. Особливістю двоїстого симплекс методу є те, що спочатку знаходяться рішення, що краще ніж оптимальне, що знаходиться за межами допустимих рішень, і

поступово крок за кроком знайдене рішення наближається до обмеженої множини допустимих рішень, метод закінчує роботи коли знайдено перше рішення, що входить до множини оптимальних. Завдяки цьому уразі, якщо рішення не буде знайдено, можна проаналізувати покрокове виконання алгоритму двоїстого симплекс методу і визначити, які обмеження слід змінити для отримання бажаного результату.

Ні відміну від двоїстого симплекс методу звичайний симплекс метод починає обчислення із обчислення допустимих, але неоптимальних рішень і поступово прямує у напрямку збільшення оптимальності. Таким чином звичайний і двоїстий симплекс метод відрізняються лише напрямком пошуку оптимального допустимого значення у заданій системі обмежень.

Виконаємо вирішення сформованої задачі лінійного програмування (4.6), за допомогою розробленого програмного забезпечення “DSimplex”, яке реалізує алгоритм двоїстого симплекс методу для рішення задач лінійного програмування.

В першу чергу виконаємо налаштування програми вказавши необхідну кількість обмежень і змінних, які представлятимуть собою задачу лінійного програмування рисунок 4.5.

Після підтвердження конфігурації задачі лінійного програмування, програма надає можливість вказати усі необхідні коефіцієнти і знаки нерівності для формування необхідного представлення задачі лінійного програмування рисунок 4.6.

Після перенесення усіх визначених на попередніх етапах даних з таблиць 4.2 – 4.6 відповідно до сформованої структура задачі (4.6) до програми.

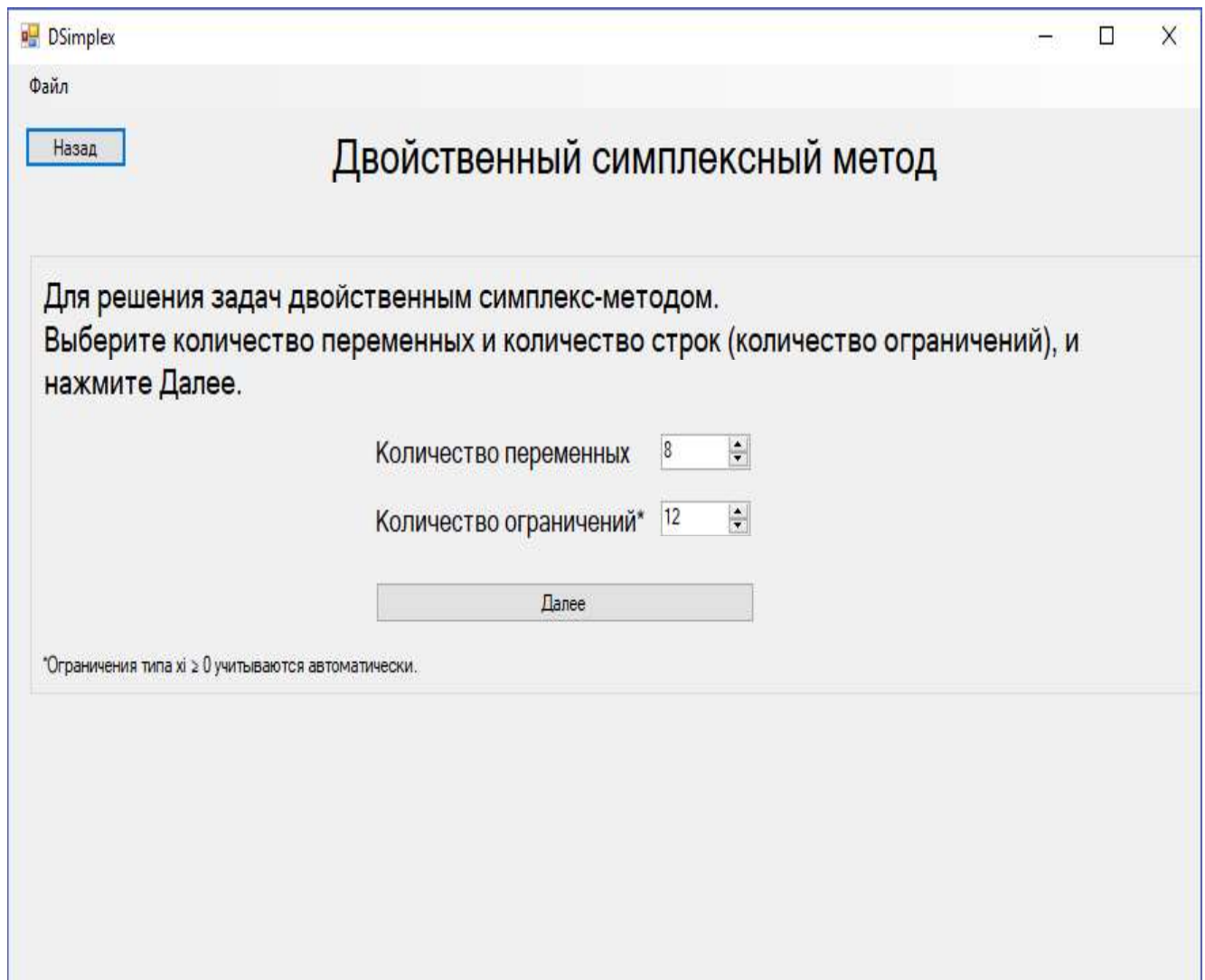


Рисунок 4.5. Интерфейс налаштування програми “DSimplex”.

Важливо зазначити, що обмеження позитивності коефіцієнтів q_i враховано автоматично, і немає необхідності вказувати їх у явному вигляді. В результаті заповнення усіх необхідних полів інтерфейсу програми отримано інтерфейс представлений на рисунок 4.7.

Після заповнення усіх необхідних полів програми натиснувши на кнопку «Вирішити» можна переглянути повне покрокове рішення представленої задачі рисунок 4.8.

Файл

Назад

Двойственный симплексный метод

Заполните коэффициенты при переменных, нажмите Далее.

<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>
<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	<=	<input type="text" value="0"/>

Функция цели F(x)

<input type="text" value="0"/>	x1	<input type="text" value="0"/>	x2	<input type="text" value="0"/>	x3	<input type="text" value="0"/>	x4	<input type="text" value="0"/>	x5	<input type="text" value="0"/>	x6	<input type="text" value="0"/>	x7	<input type="text" value="0"/>	x8	min
--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	-----

Решить

Рисунок 4.6. Інтерфейс формування задачі лінійного програмування програми “DSimplex”.

В результаті вирішення задачі отримано для кожного підприємства мінімальне значення на яке необхідно зменшити поточну кількість аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб сума викидів по всім підприємствам регіону не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при визначеному зменшенні промислових викидів. Даний оптимальний набір значень q_i наведено в таблиці 4.7.

DSimplex

Файл

Назад

Двойственный симплексный метод

Заполните коэффициенты при переменных, нажмите Далее.

0.74	x1	0.77	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0	x7	0	x8	>=	18086.49
0	x1	0	x2	0.73	x3	0.68	x4	0.81	x5	0	x6	0	x7	0	x8	>=	992.56
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0.66	x6	0	x7	0	x8	>=	-609.14
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0.64	x7	0.79	x8	>=	559.64
1	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0	x7	0	x8	<=	30430.8
0	x1	1	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0	x7	0	x8	<=	432.6
0	x1	0	x2	1	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0	x7	0	x8	<=	5152.2
0	x1	0	x2	0	x3	1	x4	0	x5	0	x6	0	x7	0	x8	<=	1189.8
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	1	x5	0	x6	0	x7	0	x8	<=	648.6
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	1	x6	0	x7	0	x8	<=	582.6
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	1	x7	0	x8	<=	1059.6
0	x1	0	x2	0	x3	0	x4	0	x5	0	x6	0	x7	1	x8	<=	516

Функция цели F(x)

2.74	x1	1.678	x2	1.25	x3	1.15	x4	1.67	x5	2.91	x6	1.32	x7	1.57	x8	min
------	----	-------	----	------	----	------	----	------	----	------	----	------	----	------	----	-----

Решить

Рисунок 4.7. Интерфейс сформованої задачі лінійного програмування, яка вирішує завдання оптимізації шкідливих аерозольних викидів основних підприємств Запорізького промислового регіону у програмі “DSimplex”.

Минимальное значение θ соответствует 3-му столбцу, т.е. переменную x_3 необходимо ввести в базис.
На пересечении ведущих строки и столбца находится разрешающий элемент (РЭ), равный (-1.07352941176471).

4. Пересчет симплекс-таблицы.
Выполняем преобразования симплексной таблицы методом Жордано-Гаусса.

	Базис	B	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
▶	x2	432.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x4	1189.8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	x15	609.14	0	0	0	0	0	-0.66	0	0	0	0	0
	x8	708.405	0	0	0	0	0	0	0.81	1	0	0	0
	x17	6439.7...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x1	23991...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ведущей будет 12-ая строка, а переменную x_{24} следует вывести из базиса.

3. Определение новой базисной переменной.

	Базис	B	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
▶	x2	432.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x4	1189.8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	x15	609.14	0	0	0	0	0	-0.66	0	0	0	0	0
	x8	708.405	0	0	0	0	0	0	0.81	1	0	0	0
	x17	6439.7...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x1	23991...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Минимальное значение θ соответствует 7-му столбцу, т.е. переменную x_7 необходимо ввести в базис.
На пересечении ведущих строки и столбца находится разрешающий элемент (РЭ), равный (-0.810126582278481).

4. Пересчет симплекс-таблицы.
Выполняем преобразования симплексной таблицы методом Жордано-Гаусса.

	Базис	B	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
▶	x2	432.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x4	1189.8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	x15	609.14	0	0	0	0	0	-0.66	0	0	0	0	0
	x8	516	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	x17	6439.7...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x1	23991...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В базисном столбце все элементы положительные.
Переходим к основному алгоритму симплекс-метода.

1. Проверка критерия оптимальности.
Среди значений индексной строки нет положительных. Поэтому эта таблица определяет оптимальный план задачи.
Окончательный вариант симплекс-таблицы:

	Базис	B	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
▶	x21	648.6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	x22	582.6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	x23	822.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x7	237.5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	F(x)	69267....	0	0	0	0	-0.283	-2.91	0	0	0	0	0

$x_1 = 23991.0648648649$, $x_2 = 432.599999999999$, $x_3 = 251.364383561644$, $x_4 = 1189.8$, $x_5 = 0$, $x_6 = 0$, $x_7 = 237.5$, $x_8 = 516$.
 $F(x) = 23991.0648648649 \cdot 2.74 + 432.599999999999 \cdot 1.678 + 251.364383561644 \cdot 1.25 + 1189.8 \cdot 1.15 + 0 \cdot 1.67 + 0 \cdot 2.91 + 237.5 \cdot 1.32 + 516 \cdot 1.57 = 69267.5160091818$

Рисунок 4.8. Частина покрокового звіту програми “DSimplex”, що є результатом вирішення введеної задачі лінійного програмування.

Таблиця 4.7 — Оптимальний набір значень q_i , що представляє мінімальне значення на яке необхідно зменшити поточну кількість аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб сума викидів по всім підприємствам регіону не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при визначеному зменшенні промислових викидів.

Номер підприємства i	q_i
1	23992
2	433
3	252
4	1190
5	0
6	0
7	238
8	516

Вартість модернізації підприємств є значення цільової функції оптимізації, і в даному випадку дорівнює 69276 умовних грошових одиниць. Вартість модернізації підприємств окремих підприємств регіону наведена у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 — Таблиця вартості модернізації підприємств.

Номер підприємства i	Вартість модернізації підприємства ($k_i * q_i$)
1	65739
2	727
3	315
4	1369
5	0
6	0
7	315
8	811

На основі знайдених коефіцієнтів зменшення викидів q_i можна підрахувати об'єми планових викидів для кожного підприємства за допомогою формули:

$$Q_{pi} = Q_{ui} - q_i \quad (4.7)$$

Застосувавши формулу (4.7) для вхідних об'ємів викидів підприємств Q_{ui} і знайдених коефіцієнтів зменшення викидів q_i отримано таблицю 4.9:

Таблиця 4.9 — Об'єми планових викидів підприємств Запорізького регіону.

Номер підприємства і	Назва підприємства	Q_{ui}	q_i	Q_{pi}
1	ВАТ «Запоріжсталь»	50718	23992	26726
2	ПАТ «Дніпроспецсталь»	721	433	288
3	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	8587	252	8335
4	ПАТ «Запоріжжкокс»	1983	1190	793
5	ПАТ «Укрграфіт»	1081	0	1081
6	ТОВ «ЗТМК»	971	0	971
7	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1766	238	1528
8	ПАТ «Мотор Січ»	860	516	344

Виконаємо перевірку отриманих результатів, підрахувавши результуючі значення забруднення по кожному підприємству Запорізького промислового регіону і порівняємо отримані результати із гранично-допустимими нормами таблиця 4.10.

Таблиця 4.10 — Перевірка отриманих результатів і їх порівняння із гранично – допустимими екологічними нормами.

Підприємство №	Еколог ічна зона №	Назва підприємства	Q_{pi}	$\sum_k a_{ik} * Q_{pi}$	C_k
1	1	ВАТ «Запоріжсталь»	26726	19999	20000
2		ПАТ «Дніпроспецсталь»	288		
3	2	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	8335	7499.4	7500
4		ПАТ «Запоріжжюкс»	793		
5		ПАТ «Укрграфіт»	1081		
6	3	ТОВ «ЗТМК»	971	640.86	1250
7	4	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1528	1249.68	1250
8		ПАТ «Мотор Січ»	344		

Таким чином підраховавши результуючі забруднення на території екологічних зон Запорізького промислового регіону отримали значення менші за гранично допустимі значення екологічних норм, що підтверджує правильність роботи сформованого математичного апарату (4.1) і можливість його адаптації до певних соціальних, економічних і технічних особливостей промислового регіону і галузей промисловості представлених у промисловому регіоні (4.6). У таблиці 4.11 представлено порівняння об'ємів початкових викидів з об'ємами оптимальних і гранично – допустимими екологічними нормами.

Таблиця 4.11 — Порівняння вхідних даних, отриманих результатів і гранично – допустимих екологічних нормам.

i	Назва підприємства	k	q_i	Q_{ui}	Q_{pi}	$\sum_k (a_{ik} * Q_{ui})$	$\sum_k (a_{ik} * Q_{pi})$	C_k
1	ВАТ «Запоріжсталь»	1	23992	50718	26726	38086.49	19999	20000
2	ПАТ «Дніпроспецсталь»		433	721	288			
3	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	2	252	8587	8335	8492.56	7499.4	7500
4	ПАТ «Запоріжжкокс»		1190	1983	793			
5	ПАТ «Укрграфіт»		0	1081	1081			
6	ТОВ «ЗТМК»	3	0	971	971	640.86	640.86	1250
7	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	4	238	1766	1528	1809.64	1249.68	1250
8	ПАТ «Мотор Січ»		516	860	344			

4.5.Висновки за розділом

В рамках даного розділу виконано апробацію сформованого у попередньому розділі математичного апарату (4.1), який дозволяє визначити для кожного підприємства таку максимально допустиму кількість аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів. Для апробації обрано Запорізький промисловий регіон, для основних підприємств, якого було знайдено значення коефіцієнтів q_i , значення яких представляють мінімальне значення на яке необхідно зменшити поточну кількість аерозолів, що

викидаються i -тим підприємством, щоб сума викидів всіх підприємств регіону не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при визначеному зменшенні промислових викидів. Визначено планові об'єми викидів для кожного підприємства Q_{pi} . На основі планових об'ємів викидів перевірена їх відповідність гранично допустимим значенням екологічних норм екологічних зон Запорізького промислового регіону. Підтверджено правильність роботи сформованого математичного апарату (4.1) і можливість його адаптації до певних соціальних, економічних і технічних особливостей промислового регіону і галузей промисловості представлених у промисловому регіоні (4.6).

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розробка стартап-проекту передбачає виконання певного переліку кроків, метою яких є формулювання ідеї стартап-проекту, перевірка цієї ідеї на життєздатність у сьогоденних реаліях, дослідження ринку з метою оцінки економічної ніші продукту, який створюється, оцінюється економічна доцільність стартап-проекту, формується ринкові і маркетингові стратегії розвитку стартап-проекту.

5.1.Формування ідеї стартап-проекту

В основі будь-якого стартап-проекту є ідея, яку даний проект представляє ринку. В рамках даної роботи сформовано математичний апарат, для знаходження оптимальних з економічної точки зору об'ємів викидів для підприємств промислового регіону, які задовольняють гранично-допустимі екологічні норми. В попередньому розділі даної роботи, декілька разів наголошувалось на складність виконання алгоритму оптимізації шкідливих викидів власноруч, і на відповідні обмеження, щодо масштабів обчислень. Ідея стартап-проекту полягає у створенні автоматизованої системи оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону. Ідея і напрямки застосування наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована система оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону	Застосування в якості самостійної системи	Дозволяє користувачу системи сформувати оптимальний, з економічної точки зору, план модернізації виробничих потужностей в рамках цілого промислового регіону або в рамках одного великого підприємства, яке складається із кількох менших підприємств розташованих на одній території.

Продовження таблиці 5.1.

Автоматизована система оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону	Застосування як експертної частини розподіленої системи моніторингу	Отримання експертних оцінок і порад на основі актуальних даних системи моніторингу. Надання інформації іншим експертним системам, наприклад системі оптимізації виробництва
---	---	---

Наступним кроком, після оформлення ідеї стартап-проекту є дослідження існуючих на ринку рішень. Серед найближчих конкурентів можна виділити програмне забезпечення «Эол 2000» та «НМУ-Эколог». Порівняння ідеї стартап-проекту із найближчими аналогами представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Порівняння ідеї стартап-проекту із найближчими аналогами, визначення слабких сильних і нейтральних сторін проекту.

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Програмні рішення конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	«Эол 2000»	«НМУ-Эколог»			
1	Кросплатформеність	+	ОС Windows (Windows 7 та старші)	ОС Windows 7 та вище			За рахунок використання Web технологій, можна використовувати на будь-якій системі
2	Прив'язаність до стандартів країни	Відсутні	Україна	Російська федерація			Гнучкість системи і можливість її конфігурації

Продовження таблиці 5.2.

3	Є самостійним програмним продуктом	Так	Так	Не є самостійною програмою. Працює тільки спільно з програмою «ПДВ- Еколог» вер. 4.75 і вище та «Еколог» вер. 4.50 і вище.			Відсутність залежності від інших програмни х продуктів дозволить отримати конкурентн у вартість програмног о забезпечен ня
4	Можливість формування плану заходів щодо зменшення викидів	Відсу тня	Відсутня	Так		Завдяки можливості інтеграції із іншими системами, відсутня необхідність створення нової експертної системи	
5	Можливість оцінки шкідливих викидів промисловог о регіону	Так	Можливіс ть оцінки санітарно -захисної зони	Відсутня			Можливіст ь оцінки викидів як одного підприємст ва так і цілого промислов ого регіону значно розширює можливості застосуван ня
6	Можливість інтеграції із іншими системами	Так	Тільки із обмежено ю кількістю продуктів компанії розробни ка	З продуктами компанії розробника	Можливо сті інтеграції із іншими системам и, зменшує гнучкість системи у подальшо му її розвитку. Підтримк а системи.		Можливість і інтеграції із іншими системами збільшує можливі ринки збуту.

Дані отримані у таблиці 5.2, є надзвичайно важливими, адже розуміння сильних і слабких сторін проекту дозволить правильно сформуванати стратегію виходу на ринок формуванню маркетингової кампанії та ідентифікації товарної ніші на ринку. Крім того дані із таблиці 5.2 дозволяють оцінити конкурентоспроможність стартап-проекту ще до його реалізації.

5.2. Технологічний аудит стартап-проекту

Важливою складовою аналізу стартап-проекту є аудит технологічної спроможності реалізації проекту. На ринку розробки програмного забезпечення на даний момент існує багато різних засобів реалізації необхідного нам програмного забезпечення, саме тому важливо сформуванати набір технологій, які б були стабільними і при цьому їх підтримувала і продовжувала розвивати їх вендорна компанія. Виконаний технологічний аудит проекту наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Аудит технологічної спроможності реалізації стартап-проекту.

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Реалізація основного алгоритму	C# ASP.NET Core	Наявна	Доступна
2	Інтерфейс користувача	JavaScript/HTML/CSS/Angular для веб інтерфейсу		
		JavaScript/HTML/CSS/Angular/ Electron – для десктопного додтку		
		JavaScript/HTML/CSS/Angular/ Ionic – мобільний додаток		
		.NetCore Web API – для інтеграції у сторонні доатки		

Продовження таблиці 5.3.

3	База даних	MongoDB	Наявна	Доступна
<p>Обрані технології реалізації ідеї стартап-проекту:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C# ASP.NET Core • MongoDB • JavaScript/HTML/CSS/Angular • Electron • Ionic 				

В результаті виконання технологічного аудиту ідеї стартап-проекту, сформовано базу технологій, які будуть використовуватись для реалізації програмної складової проекту. За даними таблиці 5.3 усі обрані технології є наявними і доступними широкому загалу, таким чином можна зробити висновок, про велику кількість наявних виконавців, які здатні реалізувати стартап-проекту. І зважаючи на те що розробкою і підтримкою вищезазначених технологій займаються гіганти інформаційного ринку Google та Microsoft, можна стверджувати актуальність і довгу підтримку у майбутньому вищезазначених технологій розробки програмного забезпечення.

5.3. Аналіз ринку

Етап аналізу ринку є надзвичайно важливою складовою розробки будь-якого стартап-проекту. Результати аналізу ринку можуть вплинути на особливості стратегії запуску продукту на ринок на стратегію розвитку продукту, а також на розробку самого програмного продукту. Результати проведення попереднього аналізу ринку наведено у таблиці 5.4.

В результаті попереднього аналізу ринку можна зробити висновок, що інвестиції у даний ринок є виправданими, за рахунок низької конкуренції вузькоспеціалізованих програмних рішень ринок не є перенасиченим і вихід на ринок не є обмеженим. Поява на ринку нового адаптивного програмного продукту, призведе до його пожвавлення і росту.

Визначимо потенційних клієнтів стартап-проекту. Результати представлено у таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 — Результати попереднього аналізу потенційного ринку стартап-проекту.

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, ум.од	10000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі або по ринку, %	22%

Таблиця 5.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність контролю дотримання екологічних норм підприємствами різних галузей промисловості	Державні апарати, які займаються контролем дотримання екологічних норм, відділи стратегічного планування і сталого розвитку	Необхідність у адаптивній системі, яка здатна оцінювати як окремі підприємства так і цілі промислові регіони з точки зору дотримання встановлених екологічних норм	Коректність отриманих значень Підтримка і навчання користувачів системи

Продовження таблиці 5.4.

2	Необхідність дотримання екологічних норм підприємствами із мінімальними економічними витратами на модернізацію виробництва	Власники великих промислових комплексів. Розробники сторонніх програмних продуктів.	Необхідність у системі, яка здатна сформувавши оптимальний з економічної точки зору план зменшення шкідливих викидів групи підприємств розташованих в одному промисловому регіоні, з урахуванням особливостей кожного із підприємств	Формування оптимальних з економічної точки зору планів по зменшенню викидів. Підтримка і навчання користувачів системи. Підтримка стабільності публічного API
---	--	---	--	---

Наступним кроком варто оцінити ризики і загрози впровадженню програмного забезпечення, яке розроблятиметься у рамках даного стартап-проекту. Фактори загроз наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 — Фактори загроз.

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічний	Можлива недостатність фінансування на початку проекту в умовах відсутності програмного продукту	Приділити велику увагу на початку проекту на пошук інвесторів і потенційних покупців, які згодні фінансувати проект у обмін на привілеї у майбутньому

Продовження таблиці 5.6.

2	Ризики довготривалої розробки програмного забезпечення	Через масштабність проекту можливі певні затримки у розробки програмного забезпечення, що у поєднанні із економічним фактором, може призвести до краху стартап-проекту, до релізу програмного забезпечення	Наполягати на використанні SCRUM методології розробки програмного забезпечення, сформувати графік релізів програмного забезпечення, і реалізувати функціональність, яка необхідна основним замовникам і інвесторам у першу чергу. Пріоритезація функціональності для створення найкращого продукту для існуючих клієнтів.
3	Конкуренти	Відсутність бажання змінювати програмне забезпечення конкурентів на наше	Дослідити можливість міграції користувачів із конкуруючих програмних продуктів
4	Потенційна обмеженість ринку збуту	Через специфічні особливості програмного забезпечення, можлива недостатня кількість клієнтів	Провести оцінку міжнародного ринку для потенційного розширення зони впливу. Розвивати екосистему додатків, таким чином забезпечивши можливість росту вглиб. Дослідити суміжні області застосування додатку. Оцінити можливості застосування додатків в інших областях.

Оцінивши основні ризики стартап-проекту, які характеризуються факторами загроз, важливо не упустити з поля зору фактори можливостей, які

варто не впустити, компанії при поході на ринок. Фактори, що сприяють ринковому впровадженню стартап-проекту представлено у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 — Фактори можливості.

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Екологічно-маркетинговий	Покращення екологічної ситуації у промислових регіонах	Самореклама продукту, можливість використання досвіду одних промислових регіонів для популяризації наданого програмного продукту
2	Новизна	Новий підхід до аналізу забруднення	Розробка унікальних програмних реалізацій
3	Повторне використання	Завдяки політиці відкритості основний функціонал наданого рішення може бути використаний сторонніми розробниками для побудови їх власного рішення	Популяризація відкритого функціоналу здатна привести до можливості претендувати на формування галузевого стандарту на основі запропонованого рішення.

Наступним етапом є визначення основних рис конкуренції на ринку. Це можна виконати за допомогою ступеневого аналізу конкуренції на ринку. Результати аналізу представлені у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 — Ступеневий аналіз конкуренції ринку.

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції: Чиста конкуренція	Не зважаючи на наявність лише декількох гравців на ринку, що характерно для олігополії, вхід на ринок є вільним.	Маркетингова компанія із висвітлення основних переваг, демонстрація результатів випробування
2	Рівень конкурентної боротьби: Міжнародний	Деякі із конкурентів знаходяться в інших країнах	Розвиток міжнародних ринків збуту, адаптація програми для міжнародного ринку
3	Галузева ознака: Міжгалузева	Програмне рішення підходить для вирішення задач різних галузей промисловості. Можливе розширення потенційних галузей використання	Дослідження можливостей використання математичного апарату для рішення проблем із інших галузей
4	Конкуренція за видами товарів: Товарно-родова	Конкуренція між схожими за функціоналом товарами	Побудова власного продукту із можливістю надання альтернатив для користувачів товарів конкурентів
5	Характер конкурентних переваг: Нецінова	Рішення іншого роду проблем користувачів	Розвиток програмного забезпечення і надання підтримки існуючим клієнтам.

Продовження таблиці 5.8.

6	За інтенсивністю: Марочна	Маркетинговий акцент на бренд продукції	Формування цінності бренду для впровадження нових програмних рішень із суміжних областей інтересів
---	------------------------------	---	--

Ступеневий аналіз конкуренції ринку не є достатнім для формування висновків стосовно стану конкуренції на ринку тому варто звернутись до детальнішого аналізу умов конкуренції в галузі за М. Портером, наведений у таблиці 5.9.

В результаті аналізу ринку можна зробити однозначний висновок щодо відсутності перешкод до входження на ринок. А наявність унікальної конкурентної переваги дозволяє стверджувати про достатній конкурентний потенціал нового продукту, який дозволить здобути значну долю ринку, не зважаючи на великий досвід існуючих конкурентів. Виконано аналіз загроз і можливостей проекту, що значно спростить вихід продукту на ринок.

Таблиця 5.9 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	«Эол 2000» «НМУ-Эколог»	Невідомі	Відсутні	Відсутність у клієнтів змінювати програмне забезпечення конкурентів на нове	За рахунок наявності унікального функціоналу у відсутні

Продовження таблиці 5.9.

Висновки	Конкуренція не формує додаткових ускладнень виходу на ринок, наявність унікальних особливостей сприятиме в конкурентній боротьбі	Завдяки політиці відкритості основний функціонал наданого рішення може бути використаний сторонніми розробниками для побудови їх власного рішення. Таким чином потенційна конкуренти можуть стати партнерами	Відсутні	Особливу увагу приділити маркетинговій кампанії з висвітлення основних переваг нового продукту. Створити можливість міграції із системи конкурентів на нашу систему	Відсутні
----------	--	--	----------	---	----------

Беручи до уваги сильні сторони нової ідеї стартап-проекту таблиця 5.2, потенційні вимоги користувачів програмного продукту визначені у таблиці 5.5, а також факторів загроз і можливостей таблиці 5.6 і 5.7 відповідно, можна сформулювати базові фактори конкурентоспроможності. Базові фактори конкурентоспроможності і їх обґрунтування наведені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 — Базові фактори конкурентоспроможності і їх обґрунтування.

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Адаптивність	Отримане рішення можна конфігурувати під потреби специфічного регіону в залежності від його особливостей. Можливість використання додатка на різних рівнях деталізації.
2	Новизна	Надання користувачу можливості оптимізувати викиди промислового регіону. Введення економічного фактору, як головного в процесі прийняття рішення

Продовження таблиці 5.10.

3	Кросплатформеність	Реалізація програмного продукту у вигляді веб додатку дозволяє використовувати його на будь-якій платформі яка підтримує браузери
4	Відкритість і можливість інтеграції	Завдяки політиці відкритості основний функціонал наданого рішення може бути використаний сторонніми розробниками для побудови їх власного рішення. Таким чином потенційні конкуренти можуть стати партнерами.

На наступному кроці необхідно провести аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту за визначеними в таблиці 5.10 факторами конкурентоспроможності. Результати аналізу представлено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 — Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін стартап-проекту.

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Адаптивність	17	+						
2	Новизна	19		+					
3	Кросплатформеність	20	+						
4	Відкритість і можливість інтеграції	19			+				
5	Наявність розвинутої екосистеми додатків сателітів	10							+

Головним кроком ринкового аналізу можливостей запуску стартап-проекту є виконання SWOT-аналізу. SWOT-аналіз представляє собою матрицю із чотирьох елементів, перших елемент це сильні сторони проекту (Strength), наступним йдуть слабкі сторони проекту, за яким треба слідкувати (Weak), під сильними сторонами розташовані можливості (Opportunities), які відкриваються перед проектом при його виході на ринок, і за ними йде остання складова – загрози проекту (Troubles). Таким чином в результаті аналізу отримуємо повний огляд факторів на яких необхідно сконцентрувати увагу, якщо буде прийнято

рішення про вихід стартап-проекту. Результат SWOT-аналізу представлено у таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 — SWOT-аналіз стартап-проекту.

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Новизна підходу (верховенство економічної складової) • Адаптивність рішення • Кросплатформаність • Відкритість до партнерства • Відсутність прив'язки до регіону 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Невідомість на ринку • Відсутність розвиненої інфраструктури суміжних додатків • Відсутність спеціалізації
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Самореклама продукту за рахунок вдалого його застосування • Значний внесок в покращення екологічного стану • Надання розробленого функціоналу стороннім розробникам для формування партнерських відносин 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Можлива недостатність фінансування на початку проекту • Ризики довготривалої розробки програмного забезпечення • Ризики конкурентної боротьби • Потенційна обмеженість ринку збуту

SWOT-аналіз стартап-проекту слугуватиме базою для розробки альтернативної ринкової поведінки, що призначене для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний час ринкової реалізації беручи до уваги програмні продукти існуючих і потенційних конкурентів, що можуть з'явитись на ринку за час розвитку стартап проекту.

Сформовані альтернативи варто аналізувати з точки зору необхідних ресурсів та строки реалізації. Результати аналізу представлено у таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 — Альтернативи ринкового впровадження стартап проекту.

No	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Створення додатку за рахунок наявних ресурсів	Наявні	12 місяців
2	Створення додатку за рахунок найманих ресурсів	Залучення коштів інвесторів для оплати робіт. Знаходження підрядника для реалізації проекту	6-12 місяців
3	Пошук партнерів для спільної реалізації проекту	Наявні	3-6 місяці

Обрана альтернатива пошуку партнерів і інвесторів для спільної реалізації проекту.

5.4.Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Першим кроком під час розробки ринкової стратегії стартап-проекту є визначення стратегії охоплення ринку. Результати дослідження представлено в таблиці 5.14.

За результатами аналізу цільових груп потенційних споживачів представлених у таблиці 5.14 обрано 1 і 2 цільові групи у якості основних, для виходу на ринок. 3 група є надзвичайно перспективною, але і надзвичайно нестабільною за своїм попитом, тому орієнтуватися на цю групу на етапі становлення буде неправильною стратегією.

Обравши перспективні цільові групи необхідно сформувати базову стратегію розвитку та стратегію конкурентної поведінки. Результати визначення базової стратегії розвитку приведені у таблиці 5.15.

Таблиця 5.14 — Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні апарати контролю, стратегічного планування і сталого розвитку	Середня зацікавленість	Попит середній	Вище середнього	Вище середнього
2	Власники великих промислових комплексів.	Висока зацікавленість	Попит середній – вище середнього	Високий	Середня складність
3	Розробники сторонніх програмних продуктів.	Середня зацікавленість	Попит нижче середнього	Відсутня.	Висока складність
Обрано цільові сегменти 1 і 2, у якості основних і 3 сегмент у якості сегменту перспективного розвитку.					

Після визначення базової стратегії розвитку необхідно обрати стратегії конкурентної поведінки. Результати і критерії вибору представлені у таблиці 5.16.

Таблиця 5.15 — Визначення базової стратегії розвитку.

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Створення гнучкого програмного продукту, який здатний підлаштовуватись під особливості кожного клієнта. Розширений у порівнянні з конкурентами функціонал	Проведення активної маркетингової кампанії із демонстраціям и на прикладі, особливостей и сильних сторін програми	Гнучкість, системний підхід до вирішення задачі, можливість виконання аналізу на необхідній рівні деталізації	Стратегія диференціації

В якості основної стратегії конкурентної поведінки обрана стратегія зайняття конкурентної ніші, а зважаючи на специфіку і новизну товару її можна назвати стратегією створення конкурентної ніші. Важливо зазначити, що після зайняття ніші в стратегію буде змінено на стратегію виклику лідеру, із основним прицілом на перехоплення існуючих клієнтів у конкурентів.

Наступним етапом є етап розробки стратегії позиціонування. Який виконується на основі обраних стратегій поведінки на ринку і стратегії конкурентної поведінки, а також базуючись на вимогах потенційних клієнтів із обраних сегментів ринку. Результати розробки стратегії позиціонування представлено у таблиці 5.17.

Таблиця 5.16 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

Чи є проект «першопроходьцем» на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Мета компанії в першу чергу розширення існуючого ринку, і лише у другу чергу перехоплення існуючих клієнтів у конкурентів	Компанія представлятиме своє бачення вирішення проблеми клієнтів, можливі часткові збіги характеристик товарів через специфіку галузі	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.17 — Визначення стратегії позиціонування.

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Точність розрахунків. Економічна оптимальність. Адаптивність системи Системність обчислень.	Стратегія диференціації	Привнесення на ринок нових підходів до оптимізації відходів. Економічна оптимальність отриманого рішення.	Економічність. Точність. Адаптивність.

Підбиваючи підсумки сформованої ринкової стратегії стартап-проекту, важливо виділити обрану базову стратегію розвитку – стратегію диференціації, і базову стратегію конкурентної поведінки – стратегію заняття нової конкурентної ніші.

5.5. Розроблення маркетингової стратегії стартап-проекту

Перед виконанням розробки маркетингової стратегії товару необхідно виконати визначення маркетингової концепції товару, який буде створено у рамках визначеного стартап-проекту. Результати визначення основних переваг концепції потенційного товару представлено у таблиці 5.18

Таблиця 5.18 — Визначення основних переваг концепції потенційного товару.

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Отримання оптимальних, з економічної точки зору, планів зменшення викидів підприємствами	Всі рішення програми є економічно оптимальними, адже це є основою алгоритму	Врахування економічного фактору під час виконання обчислень
2	Аналіз викидів декількох підприємств одночасно	Можливість аналізу необмеженої кількості підприємств промислового регіону	Аналіз більше ніж одного підприємства
3	Адаптивність системи під особливості підприємства/галузі/регіону	Можливість формування специфічних умов в залежності від особливостей організації підприємств	Врахування специфічних умов підприємства/галузі/регіону

На наступному кроці створимо трирівневу маркетингову модель товару. На першому базовому рівні визначається основний задум нового товару, представляється його ідея і вигода, яку він несе користувачеві. Охарактеризуємо реальне виконання товару наведемо його основні характеристики і властивості, його складові. Крім того сформуємо набір додаткових функціональностей, частин, складових, які б могли збільшити цінність товару для потенційного користувача. Трирівнева маркетингова модель товару наведена у таблиці 5.19.

Таблиця 5.19 — Трирівнева маркетингова модель товару.

Рівні товару	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Дозволяє користувачу системи сформувати оптимальний, з економічної точки зору, план модернізації виробничих потужностей в рамках цілого промислового регіону або в рамках одного великого підприємства, яке складається із кількох менших підприємств розташованих да одній території.		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Точність розрахунків.	Нм	технологічні
	Економічна оптимальність.		
	Адаптивність системи		
	Системність обчислень.		
	Якість: забезпечена сформованим алгоритмом, і тестуванням створеного програмного продукту		
Система складається із базового функціоналу обчислення оптимального набору викидів, яке представлене у вигляді API, і окремих інтересних частин Web, Mobile, Desktop			
3. Товар із підкріпленням	До продажу: приклади використання, відгуки клієнтів, документація щодо налаштування і адаптації програмного забезпечення під потреби користувача		
	Після продажу: Підтримка і навчання. Надання послуг міграції із систем конкурентів.		

Продовження таблиці 5.19.

Алгоритм роботи бузе захищено патентом від копіювання, використання відкритого API буде заохочуватися. За рахунок цього після закінчення строку захисту алгоритму патентом, набагато простіше буде використати відриті методи наданого сервісу ніж копіювати і створювати новий.

Після формування трирівневої маркетингової моделі товару доцільно перейти до формування цінових меж, які будуть використовуватись при формуванні ціни на товар, що створюється в рамках цього проекту. Для формування цінових меж необхідно виконати аналіз цін на товари аналоги, а також рівнів доходів цільових груп потенційних клієнтів. Результати проведення аналізу експертним методом представлені у таблиці 5.20.

Після формування цінових меж необхідно визначити прийнятну систему збуту для розробленого продукту. Результати формування системи збуту наведено у таблиці 5.21.

Таблиця 5.20 — Визначення меж встановлення ціни.

Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Замінники із аналогічною функціональністю відсутні	Всі аналоги платні, вартість пакету програм для отримання необхідної функціональності 500-2500 доларів за рік використання на одній робочій станції	Високий	1000-2000 доларів за річну ліцензію для робочої станції. Можливі окремі тарифи, які залежать від кількості і складності обчислень. А також безкоштовні доступи для розробників, без можливості завершення обчислень і отримання рекомендаційного звіту

Таблиця 5.21 — Формування системи збуту.

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Через офіційні представництва компанії розробника чи дистриб'ютора	Продаж, передання ліцензій дистриб'юторам	Виробник - споживач Виробник - дистриб'ютор Виробник - Виробник	Через окрему сторінку на офіційному сайті програмного продукту.

Для формування повної маркетингової програми залишилось лише розробити концепцію маркетингової комунікації. Для її формування необхідно взяти за основу визначену специфіку поведінки клієнтів. Формована концепція маркетингової комунікації представлена в таблиці 5.22.

Таблиця 5.22 — Концепція маркетингових комунікацій.

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Придбання ліцензії шляхом створення унікального відбитку системи клієнта і надання йому ліцензійного файлу	Інтернет-магазин	Точність розрахунків. Економічна оптимальність. Адаптивність системи. Системність обчислень.	Продемонструвати можливості системи її сильні сторони висвітлені у ключових позиціях	Таргетована реклама, демонстрації результатів роботи програми, відгуки клієнтів

5.6. Висновки за розділом

У даному розділі проведено розробку стартап проекту оснований на темі даної дипломної дисертації. Сформовано основну ідею стартап-проекту, яка полягає у створенні автоматизованої системи оптимізації шкідливих викидів підприємств промислового регіону, за економічним критерієм. Виділено основних конкурентів, їх особливості і особливості стартап-проекту, що розробляється. Виконано технічний аудит стартап-проекту виділено основні технології, які будуть використовуватись під час розробки, а саме C# ASP.NET Core, MongoDB, JavaScript, HTML, CSS, Angular, Electron, Ionic. Проаналізовано ринок, визначено приблизний загальний обсяг ринку. В результаті дослідження ринку виявлено тенденції росту і перспективності обраного ринку. Розроблена ринкова і маркетингові стратегії для входження стартап-проекту як на внутрішній так і на міжнародні ринки. Виділено основні потенційні цільові групи клієнтів, визначені основні переваги проекту, які ціняться встановленими потенційними клієнтами. На основі визначених цінностей сформовано стратегії позиціонування і конкурентної поведінки на потенційному ринку збуту.

ВИСНОВКИ

Для досягнення мети даної роботи виконані наступні задачі. Досліджена предметна область проблеми забруднення навколишнього середовища загалом, і зокрема проблема забруднення атмосфери аерозольними викидами. Досліджені види забруднення і наслідки до яких вони призводять. Сформулювало основну задачу роботи, яка полягала у визначенні для кожного підприємства промислового регіону такої максимально допустимої кількості аерозолів, що викидаються цим підприємством, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію підприємств, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів. Досліджено фізичну природу аерозолів і знайдено математичний апарат, який здатен описати фізичні процеси забруднення.

В результаті проведеного дослідження визначено математичну модель руху аерозольних мас, яка представляє собою рівняння Нав'є - Стокс, що включають рівняння руху повітря (по одному рівнянню для кожного виміру), разом із відповідними моделями для нормальних сил і сил зсуву, а також рівняння безперервності. Описано фізичні процеси, які протікають у аерозольному середовищі під час його руху, наведено математичні моделі для цих взаємодій. Надано класифікацію і характеристику аерозольним забрудненнями, визначено їх склад, джерела, а також їх вплив на людину и природу в цілому. Описано рішення основної задачі у вигляді диференціальних рівнянь і нерівностей, які забезпечують виконання екологічних вимог.

Через значну складність вирішення в загальному виді отриманої задачі, виконано додатковий аналіз задачі і вирішено спростити її використовуючи метод суперпозиції, і за рахунок виконання тривіальних структурних перетворень вдалось перейти до задачі лінійного програмування, рішення якої може бути знайдено за допомогою чисельних методів.

Виконано апробацію отриманого рішення на прикладі Запорізького промислового регіону. Перевірка отриманих результатів підтвердила

коректність знайденого рішення. Результати опубліковано в статтях [9,10] фахових видань.

Виходячи із зазначеного вище можна зробити висновок, усі задачі поставлені у даній роботі виконано і мету виконання роботи досягнуто.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Pramod Kulkarni (Editor) Aerosol measurement : principles, techniques, and applications 3rd Edition / Paul A. Baron (Editor), Klaus Willeke (Editor) — 2011 — ISBN: 978-0-470-38741, — 900 p.
2. James H. Vincent Aerosol Sampling: Science and Practice — 1989 — ISBN 10: 0471921750 / ISBN 13: 9780471921752, 412 p.
3. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды — 1979 — 215 С.
4. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды — 1982 — 320 С.
5. В.М.Гарин Промышленная экология / И.А.Кленова, В.И.Колесников, — 2005 — ISBN: 5-89035-282-2 — 328 С.
6. Д.В. Елисеева Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности, — 2015 — ISBN: 978- 5- 4379- 0419- 0— 260 С.
7. Швыряев А.Л. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе/ Меньшиков В.В, — 2004— 124 С.
8. Фельдман Л.П., Чисельні методи в інформатиці/ Петренко А.І., Дмитрієва О.А. — 2006. — 480 С.
9. A. Stenin Optimization of harmful emissions from factories in the environmental zones of the industrial region /A. Stenin, E. Melkumian, S. Stenin, O. Mizov // Bulgarian Journal for Engineering Design, — 2018 — ISSN 1313-7530 — С 53-56.
10. Стенин А. А. Оптимальное размещение индустриальных предприятий с минимальными экологическими последствиями для данного промышленного региона / А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин, А. А. Мизев // Адаптивні системи автоматичного управління. — 2018. — № 1. — С. 160-165. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/asau_2018_1_20.

ДОДАТКИ

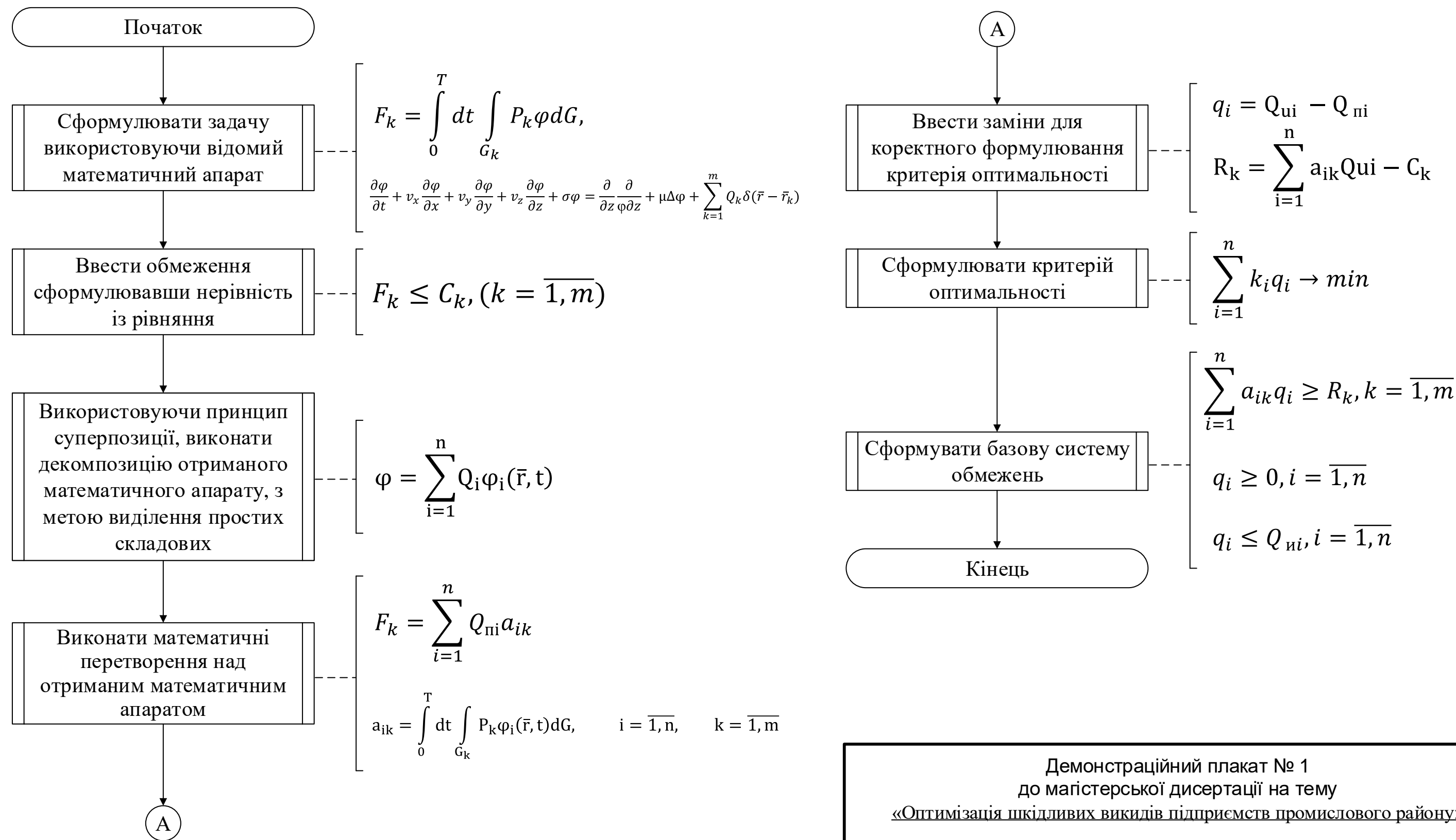
ДОДАТОК А

Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Алгоритм переходу до задачі лінійного програмування

Аркушів 1

Алгоритм переходу до задачі лінійного програмування



Демонстраційний плакат № 1
до магістерської дисертації на тему
«Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району»

Розробив: Мізьов О.О.
Прийняв: Мелкумян К.Ю.

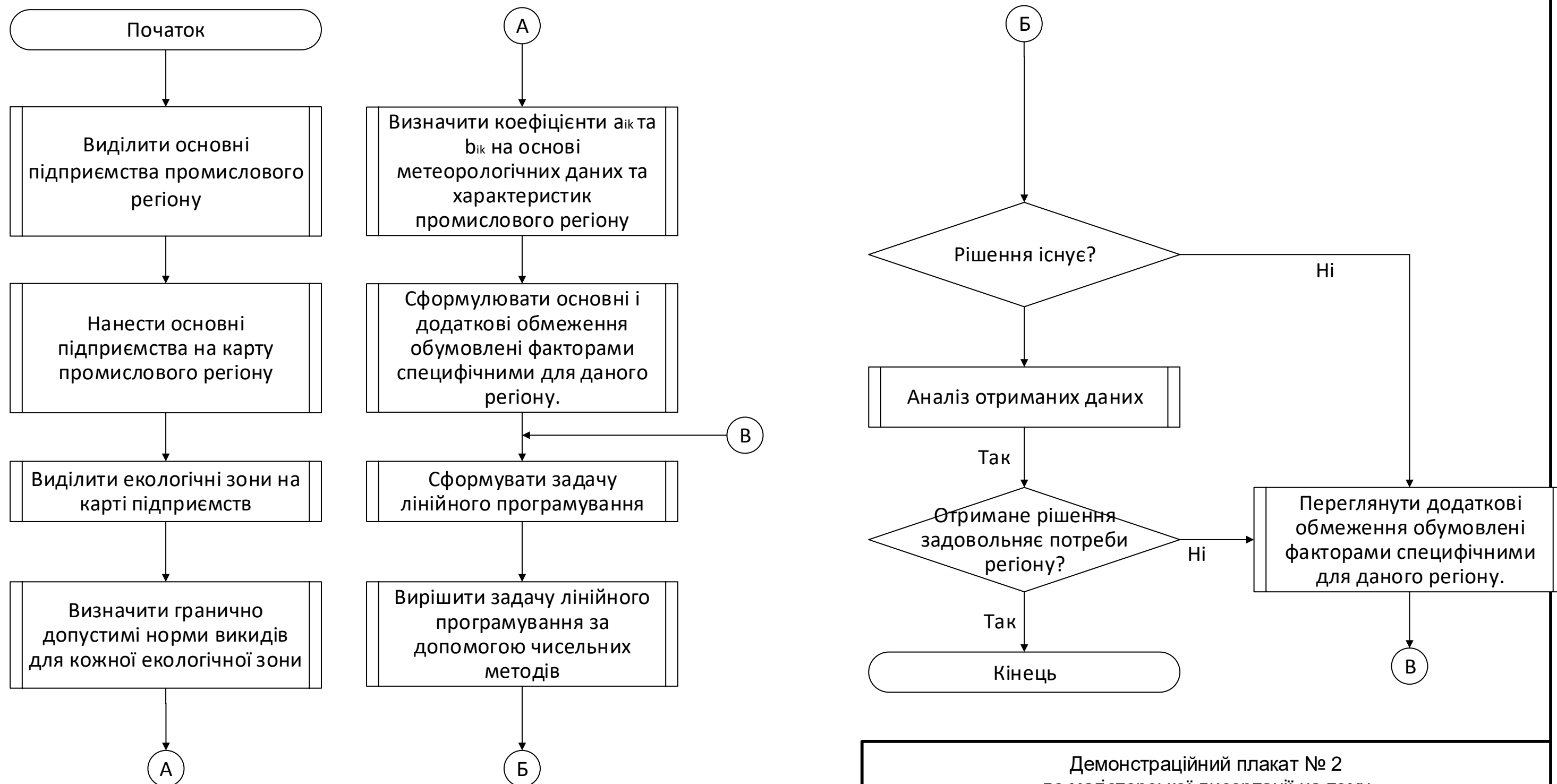
ДОДАТОК Б

Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Методологія застосування сформованого математичного апарату

Аркушів 1

Методологія застосування сформованого математичного апарату



Демонстраційний плакат № 2
до магістерської дисертації на тему
«Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району»

Розробив: Мізьов О.О.
Прийняв: Мелкумян К.Ю.

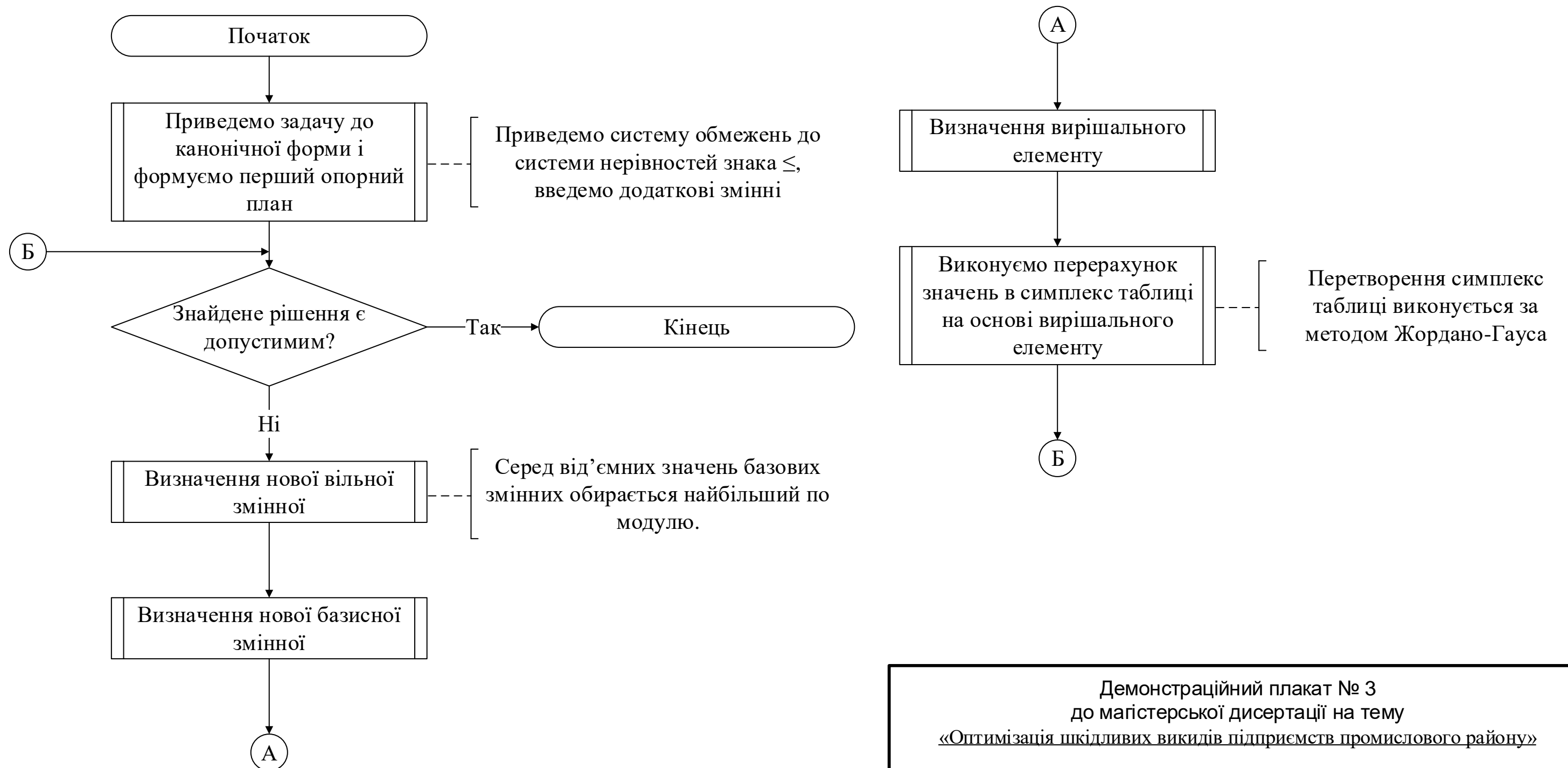
ДОДАТОК В

Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Блок-схема алгоритму двоїстого симплекс методу

Аркушів 1

Блок-схема алгоритму двоїстого симплекс методу



Демонстраційний плакат № 3
до магістерської дисертації на тему
«Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району»

Розробив: Мізьов О.О.
Прийняв: Мелкумян К.Ю.

ДОДАТОК Г

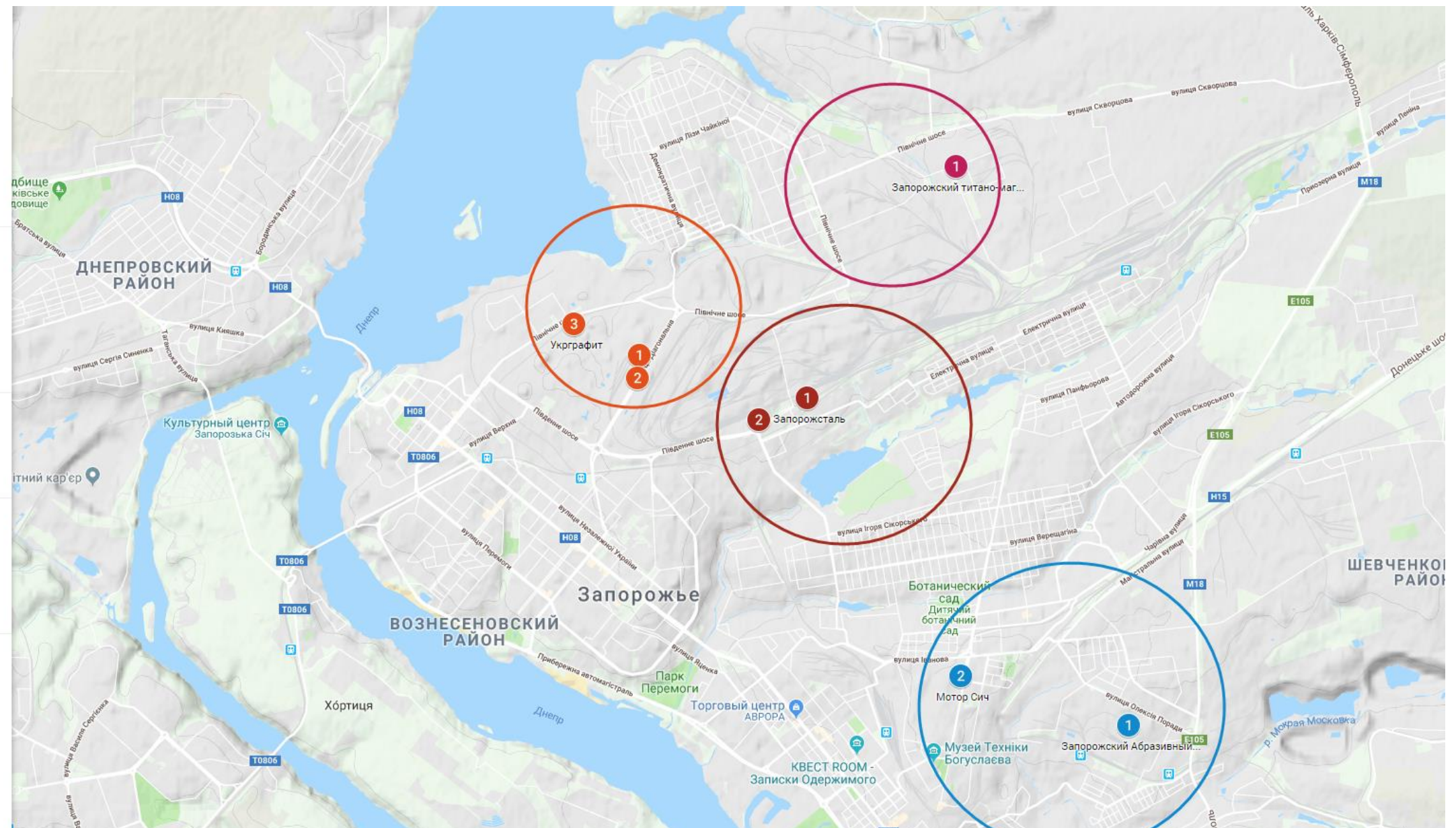
Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Карти розташування основних підприємств і екологічних зон
Запорізького регіону

Аркушів 1

Карти розташування основних підприємств і екологічних зон Запорізького регіону

- ✓ Підприємства екологічної зони №1
 - 1 Запоржсталь
 - 2 Днепропеталь
- ✓ Підприємства екологічної зони №2
 - 1 Запоржский Завод Ферросплавов
 - 2 Запоржжокс
 - 3 Укрграфит
- ✓ Підприємства екологічної зони №3
 - 1 Запоржский титано-магнийовий комбінат
- ✓ Підприємства екологічної зони №4
 - 1 Запоржский Абразивний Комбінат
 - 2 Мотор Сич



Демонстраційний плакат № 4
до магістерської дисертації на тему
«Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району»

Розробив: Мізьов О.О.
Прийняв: Мелкумян К.Ю.

ДОДАТОК Д

Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Результати застосування розробленої методології використання
сформованого математичного апарату на прикладі Запорізького
регіону

Аркушів 1

Результати застосування розробленої методології використання сформованого математичного апарату на прикладі Запорізького регіону

Вхідні об’єми викидів підприємств Запорізького промислового регіону

Підприємство	Об’єм викидів т. Q_{ui}	Відсоток від загального об’єму викидів
ВАТ «Запоріжсталь»	50 718	72.30%
ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	8587	12.20%
ПАТ «Запоріжжкокс»	1983	2.80%
ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1766	2.50%
ПАТ «Укрграфіт»	1081	1.50%
ТОВ «ЗТМК»	971	1.40%
ПАТ «Мотор Січ»	860	1.20%
ПАТ «Дніпроспецсталь»	721	1.00%
Загалом	15969	94.90%

Гранично допустимі екологічні норми забруднень екологічних зон Запорізького промислового регіону

Порядковий номер підприємства	Екологічна зона #	Назва підприємства	Гранично допустимі норми викидів C_k
1	1	ВАТ «Запоріжсталь»	20000
2		ПАТ «Дніпроспецсталь»	
3	2	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	7500
4		ПАТ «Запоріжжкокс»	
5		ПАТ «Укрграфіт»	
6	3	ТОВ «ЗТМК»	1250
7	4	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	1250
8		ПАТ «Мотор Січ»	

Результати оптимізації об’ємів шкідливих викидів і їх порівняння із вихідними значеннями об’ємів викидів і гранично-допустимим екологічними нормами

i	Назва підприємства	k	q_i	Вартість модернізації підприємства ($k_i * q_i$)	Q_{ui}	Q_{pi}	$\sum_k (a_{ik} * Q_{ui})$	$\sum_k (a_{ik} * Q_{pi})$	C_k
1	ВАТ «Запоріжсталь»	1	23992	65739	50718	26726	38086.49	19999	20000
2	ПАТ «Дніпроспецсталь»		433	727	721	288			
3	ПАТ «Запорізький завод феросплавів»	2	252	315	8587	8335	8492.56	7499.4	7500
4	ПАТ «Запоріжжкокс»		1190	1369	1983	793			
5	ПАТ «Укрграфіт»		0	0	1081	1081			
6	ТОВ «ЗТМК»	3	0	0	971	971	640.86	640.86	1250
7	ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	4	238	315	1766	1528	1809.64	1249.68	1250
8	ПАТ «Мотор Січ»		516	811	860	344			

Демонстраційний плакат № 5
до магістерської дисертації на тему
«Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району»

Розробив: Мізьов О.О.
Прийняв: Мелкумян К.Ю.

ДОДАТОК Е

Оптимізація шкідливих викидів підприємств промислового району

Результати перевірки на співпадіння

Аркушів 1

Doc vs Internet + Library

99.6% Originality	0.4% Similarity	41 Sources
-------------------	-----------------	------------

Web sources: 29 sources found

1. https://ukrbukva.net/page,8,92137-Sopryazhennye-zadachi-perenosy-i-diffuzii-v-probleme-ocenki-i-...	0.17%
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Slope-intercept_form	0.08%
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_equation	0.08%
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Superposition_principle	0.08%
5. https://www.math.toronto.edu/mat137/files/Beatriz/Lecture_11_Beatriz_MVT_Applications.pdf	0.07%
6. http://www.cengage.com/resource_uploads/downloads/1111427631_267947.pdf	0.07%
7. https://es.slideshare.net/verocha66/funciones-11207741	0.07%
8. https://es.slideshare.net/gameri7/guia-matematica-novenoao-maestros	0.07%
9. https://openeclass.teimes.gr/modules/document/file.php/YDAD100/%CE%9C%CE%B1%CE%B8%...	0.07%
10. https://en.m.wikipedia.org/wiki/List_of_mathematical_symbols	0.07%
11. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mathematical_symbols	0.07%
12. http://cursos.aiu.edu/Calculo%20Diferencial%20e%20Integral/PDF/Tema%202.pdf	0.07%
13. http://www.phys.ufl.edu/%7Ekorytov/phy2049/old_notes/all_chapters.pdf	0.07%
14. https://quizlet.com/23339198/combo-with-college-algebra-final-review-and-7-others-flash-cards	0.07%
15. https://knowledge.allbest.ru/mathematics/2c0a65635a3ad68b5c43a89521306d36_0.html	0.07%
16. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/32197/1/borysenko_analitychna_geometriya.pdf	0.07%
17. http://www.math.ru.nl/~souvi/wiskunde2_04/les9.pdf	0.07%
18. https://matematicasiesoja.files.wordpress.com/2013/10/funciones-y-graficas.pdf	0.07%
19. https://www.cengage.com/resource_uploads/downloads/1111427631_267947.pdf	0.07%
20. http://epsem.upc.edu/~fpq/numerico/resum/aprox-interp.pdf	0.06%
21. http://schoolsite.org.ua/4/media/editors/tinymce/upload-files/Lect-Isem.pdf	0.06%
22. http://home.iitk.ac.in/~dasgupta/MathBook/Imastertrans.pdf	0.06%
23. https://StudFiles.net/preview/3904491/page:6	0.06%
24. https://docplayer.es/37099419-0-1-ejercicios-de-scilab.html	0.06%
25. https://cooljargon.com/ebooks/algebra_and_trigonometry/m51279/index.cnxml.html	0.06%
26. http://math.niu.edu/~dattab/MATH435.2013/ROOT_FINDING	0.06%
27. https://www.math.ucdavis.edu/~emsilvia/math127/chapter5.pdf	0.06%
28. http://web.mit.edu/2.25/www/pdf/viscous_flow_eqn.pdf	0.06%
29. http://www.stat.pitt.edu/stoffer/tsa3/intro_prob.pdf	0.06%

Library sources: 12 sources found

Stelmakh (1).docx	0.08%
Matviiv Kate_KA-71mp-2.pdf	0.06%